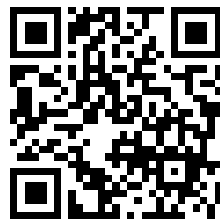

This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

GoogleTM books

<https://books.google.com>





A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

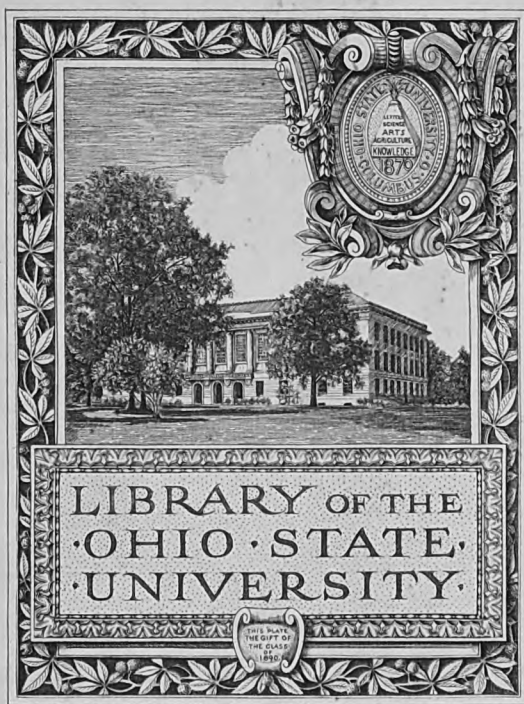
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>



T.E. French del 1915.

A.N. Macdonald Sc.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DES
ÉLECTRICIENS

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DES
ÉLECTRICIENS

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE LE 7 DÉCEMBRE 1886

QUATRIÈME SÉRIE
TOME IX — ANNÉE 1929



PARIS
ETIENNE CHIRON, ÉDITEUR
40, RUE DE SEINE

1929

OHIO STATE
UNIVERSITY

TK 2
862
10/11

STATE OF
VIRGINIA

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Assemblée générale extraordinaire du 27 Décembre 1928, p. 6.
Assemblée générale ordinaire du 5 Janvier 1929, p. 7.
Réunion ordinaire mensuelle du 5 Janvier 1929, p. 7.
Admissions de Membres titulaires, p. 8.
Membres décédés, p. 9.
Allocutions du Président sortant et du Président entrant, p. 11.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Discussions de la Semaine d'Octobre 1928 : Allocution de M. IMBS, Président de la Société Française des Electriciens, p. 13.

1^{re} SECTION. — Sommaire, p. 15. — Echauffements limites des machines électriques et notion de surcharge (MM. LANGLOIS-BERTHELOT, BOUCHEROT, ROTH, GIRAULT, DARRIEUS, de PISTOYE, BELFILS), p. 17. — Les moteurs asynchrones synchronisés (MM. LE MONNIER, BELFILS, MATHIVET, BUNET, BOUCHEROT, GRATZMULLER, de PISTOYE, BERGERON, ROTH, BERGER, BELFILS), p. 27. — Les procédés de démarrage des moteurs asynchrones (MM. de PISTOYE, DEFLASSIEUX, BERGER, MARTINEAU), p. 60. — Les moteurs électriques de laminoirs (MM. GRIVET, JUNG, BELFILS) p. 68. — Etude des différents systèmes d'excitation et leur influence sur la stabilité de marche des réseaux (MM. BELFILS, FALLOU), p. 78. — Propagation des ondes dans les enroulements (MM. LEDOUX, FLEGLER, FALLOU, DARRIEUS, BUNET, BENOIT, de PISTOYE p. 85. — Effets de la puissance réactive et ses applications (M. FALLOU), p. 101.

INFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ELECTRICIENS :

Renouvellement partiel du Bureau et du Comité par l'Assemblée générale du 7 Janvier 1929, p. 105.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 107.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 109.

IL Y A TRENTE ANS, p. 112.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE

du Jeudi 27 Décembre 1928

Présidence de M. E. IMBS.

La séance est ouverte à 17 h. 5.

M. le Président expose les raisons qui ont amené le Comité à proposer la résolution ci-après :

A partir du 1^{er} janvier 1929, l'article premier du règlement intérieur est modifié comme suit :

ARTICLE PREMIER. — 1. — La cotisation annuelle est de 100 francs pour les Membres individuels, résidant en France ou dans les Colonies françaises.

Les Groupements et Sociétés Scientifiques et Industriels devront acquitter au moins deux cotisations de Membre individuel.

La cotisation annuelle est réduite de moitié pour les Elèves de l'Ecole supérieure d'Electricité, des Instituts Electrotechniques et en général des Etablissements techniques supérieurs dont les diplômes donnent à leurs élèves la possibilité d'être admis sans examen à l'E. S. E.

La cotisation des Membres résidant à l'Etranger est de 125 francs pour les Membres individuels.

9. — Les Membres individuels peuvent se libérer de toute cotisation. moyennant le paiement d'une somme de 1 500 francs pour les Membres résidant en France ou, dans les colonies françaises et 1 875 francs pour les Membres résidant à l'Etranger, effectué, soit en un versement, soit en deux versements annuels de 750 francs (France ou colonies) ou 937 fr. 50 (Etranger), pendant deux années consécutives, soit en trois versements annuels de 500 francs (France ou colonies) ou 625 francs (Etranger) pendant trois années consécutives.

Dans le cas où ils cesseraient de faire partie de la Société avant le

versement de la totalité des annuités précédemment indiquées, les versements effectués demeureraient acquis à la Société.

Après échanges de vues il est procédé au dépouillement du scrutin qui donne les résultats suivants :

Nombre de votants	492
Bulletins nuls	6
Oui	378
Non	108

La séance est levée à 18 h. 15.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE

du Samedi 5 Janvier 1929

Présidence de M. IMBS.

L'Assemblée est ouverte à 16 h. 30.

M. le Président invite les Membres qui n'auraient pas envoyé leur vote pour le renouvellement partiel du Bureau, du Comité et de la Commission des Comptes à déposer leur Bulletin dans l'urne.

MM. les scrutateurs dépouillent le scrutin dont M. le Président proclame le résultat (V. p. 105 du présent Bulletin).

L'Assemblée générale est levée à 17 heures.

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Samedi 5 Janvier 1929

La séance est ouverte à 17 heures,

Le procès-verbal est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

- Barrusta** (Gaston-Octave), ingénieur chef commercial Société « Le Transformateur », 65, avenue du Maine, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Briant** (Henri), directeur des Etablissements « Lumincon », 4, rue Cousin, à Bordeaux. Domicile : 106, cours d'Aquitaine, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Foch et Rousseau.
- Bucourt** (Marcel-Louis-Félix), fabricant de pierres fines pour usages industriels : rubis et saphirs pour compteurs d'électricité et appareils de mesures Axes et pivots polis pour compteurs et appareils de précision. Usines à Saint-Genis-Pouilly (Ain), 12, rue du Fenard, à Paris (4^e). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Champonnois** (Henri-Pierre), administrateur délégué de la Société française des Ascenseurs Stigler, 52, rue Jeanne-d'Arc, à Paris. Domicile : 37, avenue Félix-Faure, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Boucherot et Bunet.
- Chevigny** (Georges-Paul), directeur technique administratif, Ateliers Scignol, 12, avenue Madrid, à Neuilly. Domicile : 9, impasse Dupin, à Viroflay (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Cohalion** (Marius-Virgile), directeur de l'Agence de Dijon de la Société générale de Constructions électriques et mécaniques, 3, place Emile-Zola, à Dijon (Côte-d'Or). Domicile : 29 rue Lamartine, à Dijon (Côte-d'Or). — Présenté par MM. Boucherot et Bunet.
- Collot** (Charles-Georges), administrateur délégué de la Société des Etablissements Varnet et Collot, 3, rue Du-Pont-de-l'Eure, à Paris (20^e). — Présenté par MM. Boucherot et Bunet.
- Dupui** (Pierre), ingénieur de l'Union d'Electricité chargé du Changement de Fréquence à la C.P.D.E., 13, rue Hégésippe-Moreau, à Paris (18^e). — Présenté par MM. Imbs et Riéunier.
- Dupuy** (Paul-Armand-Joseph), ingénieur-conseil, administrateur délégué des Sociétés anonymes « Les Monteurs électriciens de Paris, La Méridionale des Bâtisseurs et Décorateurs, La Carbonisation, Récupération, Chauffage, Les Conseillers techniques, 10 bis, rue Poirier, à Saint-Mandé (Seine). — Présenté par MM. Boucherot et Bunet.
- Edel** (Jacques-Alfred), E.O.R., à l'Ecole pratique d'Aviation, Camp d'Avord (Cher), ingénieur E.S.E. — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Fabre** (Jean-Paul-Jacques), chef adjoint du Service des Abonnés de la C.P.D.E., 23, rue de Vienne, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Malégarie et Adam.
- Gall** (Jean), ingénieur en chef de la Société des Produits Azotés, 49, rue de la Tour, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Imbs et Bunet.
- Gendron** (Pierre), ingénieur en chef du *Petit Parisien*, 167, boulevard Malesherbes, à Paris (17^e). — Présenté par MM. Boucherot et Bunet.
- Gresy** (Adolphe-Louis-Emile), administrateur et ingénieur des Anciens Etablissements Prion. Matériel et produits pour les Industries des dépôts électrométalliques, ingénieur-conseil, 19, rue du Montoir, à Clamart (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Labussière** (Gaston-Antoine), ingénieur en chef du corps de l'Aéronautique, 5, rue Brown-Séguard, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Leblanc et Darmois.
- Leblanc** (Yorick), ingénieur à la Maison Bréguet (Service commercial), 22, rue Franceur, à Paris (18^e). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Magenties** (Léon-Marie-Aimé), Sous-directeur de la Succursale de Lyon de la Compagnie continentale des Compteurs, 35, rue Victorien-Sardou, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Delon et Magenties Louis.
- Massot** (Raoul-Octave), ingénieur aux Ateliers de Constructions électriques de Lyon et du Dauphiné, 220, route d'Heyrieux, à Lyon. Domicile : 30, rue Emile-Combes, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Bunet et Rigollot.
- Michel** (Claude), directeur du Bureau de Caen de la Société « Alsthom », 39, rue Guilbert, à Caen (Calvados). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Spire** (René), directeur de la Société Dijonnaise d'Electricité, 14, rue Vauban, à Dijon (Côte-d'Or). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Strauss** (Georges), directeur de la Société Bozel-Maletra, 9, rue de Milan, à Paris (9^e). Domicile : 46 bis, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Boucherot et Bunet.
- Ville** (Raphaël-Hippolyte-Adrien), directeur de l'Usine d'Electrochimie de Plan du Var (Alpes-Maritimes) (Bozel, Maletra, Société Industrielle de Produits Chimiques). — Présenté par MM. Boucherot et Bunet).

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président fait part en ces termes du décès de M. Georges DEHENNE :

Nous avons eu le regret d'apprendre le décès de notre collègue, M. Georges DEHENNE.

Sorti de l'Ecole Centrale en 1879, DEHENNE se voua très vite à l'industrie électrique et après diverses missions techniques à l'étranger, il fut nommé, en 1884, Directeur de la Compagnie Electrique, Société Anonyme fondée par GRAMME et Hippolyte FONTAINE, pour les applications de la transmission électrique de la force motrice. Il lui fit prendre un développement rapide.

Dans la séance du 4 mars 1910, de la Société des Ingénieurs Civils de France, où M. DEHENNE venait de faire une communication sur les appareils de levage à commande électrique, le Président, en remerciant le conférencier, ajoutait :

« M. DEHENNE a fait allusion aux travaux de notre regretté collègue « Hippolyte FONTAINE, en vue de transporter et d'utiliser à distance « l'énergie électrique, mais, c'est par modestie qu'il n'a pas dit qu'il « avait été le collaborateur d'Hippolyte FONTAINE, et l'un des promoteurs de ce mode de transport de l'énergie. »

« M. DEHENNE compte parmi ceux qui ont fait faire le plus de progrès à cette question. »

En 1889, DEHENNE entra comme Ingénieur en Chef aux anciens Etablissements Sautter-Harlé (alors Sautter-Lemonnier et C^{ie}).

Pendant la guerre, ayant notablement dépassé l'âge de mobilisation, il avait été affecté, au titre civil, et en qualité d'Ingénieur en Chef, aux ateliers Sautter-Harlé, à la fabrication de matériel de guerre.

En 1917, il fut délégué par la même Maison, ainsi que par les Etablissements Bréguet, la Maison Gramme, la Société Electro-Mécanique, la Maison Legendre, etc..., dans les fonctions de Directeur d'une Société Coopérative d'achats en commun pour les moteurs nécessaires à l'industrie électrique, et, notamment, pour les tôles dynamos.

Sa parfaite connaissance des besoins de l'industrie électrique lui a permis de rendre ainsi des services signalés aux groupements formés par les principales maisons d'électricité, en leur facilitant des approvisionnements aussi nécessaires aux fabrications de guerre qu'à celles de la période d'après guerre.

Membre fondateur de notre Société, il fut appelé à plusieurs reprises, à siéger dans son Comité d'Administration. Titulaire de trois médailles d'or de collaborateur à l'Exposition Universelle de 1900, il était Membre du Jury à l'Exposition Internationale de Turin en 1911.

Ses qualités de caractère l'ont fait vivement apprécier pendant toute sa carrière, par ses collègues et amis. D'une loyauté parfaite dans ses rapports, toujours bienveillant et disposé à rendre service il a pu aider de ses conseils et de ses avis de nombreux ingénieurs.

Nous exprimons à sa famille les douloureuses condoléances de la Société.

M. Maurice LEBLANC, fait un compte rendu du *Congrès International d'Eclairage de Saranac Inn de septembre 1928* (1).

L'auteur donne quelques précisions sur l'organisation des réunions et expose les constatations faites par la délégation française sur le mode d'éclairage des rues, la publicité lumineuse, l'éclairage par projecteur, l'éclairage intérieur, celui des usines, des bureaux, des monuments ; sur les salles de démonstration et les laboratoires de photométrie.

Il retrace ensuite les travaux du Congrès de l'Illuminating Engineering Society à Toronto et ceux de la réunion de Saranac.

En terminant, il attire l'attention sur la contribution apportée par la délégation française, spécialement en ce qui concerne les unités et l'étalon de lumière.

M. le Président. — Je remercie vivement M. Maurice LEBLANC d'avoir bien voulu nous résumer les impressions du beau voyage qu'il a fait aux Etats-Unis.

Nous avons beaucoup à apprendre des Américains en matière d'éclairagisme ; ils ont eux aussi beaucoup à profiter de l'enseignement qu'ils peuvent tirer chez nous d'une science dans laquelle ils reconnaissent que nous sommes aujourd'hui passés maîtres en France.

Des échanges de vues fréquents entre nos deux pays sont donc très utiles et il est à souhaiter que nos collègues puissent aller de plus en plus souvent aux Etats-Unis.

M. SOULIER fait une communication d'ensemble sur les *redresseurs* de courants alternatifs, après un court historique de la question,

(1) Cette communication sera publiée *in extenso* dans un Bulletin ultérieur.

il donne une classification rationnelle des divers redresseurs qu'il décrit successivement en indiquant au passage leurs applications.

M. le Président. — Je remercie M. SOULIER, dont nous connaissons tous la compétence pour avoir lu ses articles dans l'*Industrie Electrique*, d'avoir rendu le sujet qu'il a traité aussi remarquablement vivant et de nous avoir permis d'apprécier le véritable charme de ses qualités de conférencier.

M. le Président prononce ensuite l'allocution suivante :

Il me reste à accomplir les formalités qui, chaque année, ont lieu à l'Assemblée Générale de janvier : c'est à cette assemblée que le Président en exercice cède la Présidence à son successeur désigné.

Avant de quitter le fauteuil présidentiel, permettez-moi de vous remercier des très grandes satisfactions que vous m'avez données au contact plus intime que ma Présidence m'a procuré le plaisir d'avoir avec vous. Les travaux quotidiens de la Société, de l'Ecole et du Laboratoire, nos réunions fréquentes, l'esprit de collaboration qui règne entre vous tous dans un même effort pour le développement de la science électrotechnique française, enfin tous les petits faits journaliers qui constituent la vie de la Société créent entre votre Président et vous, un sentiment très spécial qui est fait de confiance, de respect de vos œuvres, de gratitude et d'affection.

Pour cette année, vous avez fait choix, Messieurs, en la personne de M. BUNET, d'un Président qui s'imposait à vos suffrages. Sa grande compétence technique, notamment dans le domaine de l'électrochimie, les éminents services qu'il a rendus à la Défense Nationale, enfin sa haute valeur personnelle et morale sont autant de gages de la satisfaction que nous éprouvons tous de lui voir occuper le fauteuil que je quitte.

M. BUNET, je vous passe la Présidence.

M. BUNET, Président entrant répond en ces termes :

Je vous remercie, Messieurs, de la confiance que vous me témoignez en m'appelant à présider votre Société.

Selon l'usage, je ne dirai ce soir que quelques mots, exprimant les remerciements qui doivent aller à M. IMBS.

Sous sa présidence, notre Société a continué de suivre la voie de développement et de progrès tracée par ses prédécesseurs, M. IMBS nous apportant et nous prodiguant ses précieuses qualités d'adminis-

trateur et de technicien, ne ménageant ni son temps, ni ses soins en notre faveur.

Nous devons, notamment et tout particulièrement, nous souvenir de son efficace intervention ayant permis de procéder, dans des conditions fort avantageuses, à des aménagements considérables dans notre nouvelle école.

Votre rôle, cher M. Imbs, ne se termine pas ce soir, car vous nous avez promis une participation suivie à la solution d'importantes questions. Je serai le premier à apprécier l'aide que vous voulez bien ainsi nous continuer et je vous en remercie à l'avance.

La séance est levée à 19 heures.

SEMAINE DE DISCUSSIONS D'OCTOBRE 1928

COMPTE RENDU STÉNOGRAPHIQUE DES DISCUSSIONS

Séance d'ouverture du Lundi 22 Octobre 1928.

M. IMBS, Président, ouvre la séance en ces termes :

Messieurs,

En ouvrant aujourd'hui la 5^e semaine annuelle de discussions de la Société Française des Electriciens, je n'ai pas besoin d'appeler très longuement votre attention sur le haut intérêt de cette nouvelle manifestation de vos activités.

L'assistance que je vois autour de moi me montre que, tous les ans, s'accroissent le nombre et la qualité des personnalités éminentes qui viennent prendre part à nos travaux et qui par conséquent en apprécient la valeur.

Vous savez tous que c'est notre collègue, M. Bunet, Président désigné de notre Société pour 1929, qui eût l'idée, en 1924, de créer une semaine annuelle pour permettre à nos membres de se retrouver et de suivre les progrès si rapides de la science et de la technique électro-mécanique.

Chaque année sont passées en revue un certain nombre de questions portées à l'avance à l'ordre du jour des discussions dans chacune des 6 sections qui correspondent aux différents cadres d'activité de nos études et de nos recherches.

A ces réunions, nous convions les Sociétés sœurs et nos collègues étrangers.

Nous avons eu la satisfaction, au cours des années antérieures, de

voir parmi nous notamment, M. Ricardo Arno, venu tout exprès de Milan, en 1924, pour intervenir dans la question de l'énergie réactive. En 1926, M. Mailloux, alors Président de la Commission Electrotechnique Internationale, avait quitté les Etats-Unis, pour être des nôtres et nous féliciter de l'intérêt qu'avaient présenté les discussions de 1925.

MM. Budeanu et Busila viennent cette année de Roumanie ; je ne saurais dire à quel point il m'est agréable de les congratuler aujourd'hui du concours que donne leur grand pays, grâce à des hommes comme eux, au développement de la science électrotechnique et par extension toute naturelle à l'échange des idées entre les nations, si indispensable pour assurer les liens d'amitié des peuples entre eux.

Vous rappellerais-je en quelques mots l'historique d'un passé qui est encore tout proche ? Dès le début de nos semaines d'octobre, nous avons mis à l'ordre du jour d'importantes questions qui y sont encore aujourd'hui et qui y seront pour ainsi dire perpétuellement, car les solutions varieront avec les modalités des progrès de la technique ; ce sont notamment les questions des ondes à front raide, de l'énergie réactive, de la protection des réseaux.

L'étude de l'analyse des courbes d'alternateurs a déjà abouti à l'adoption de deux méthodes pratiques qui, transmises au Comité Electrotechnique français, ont été prises en considération par la Commission Electrotechnique internationale.

L'an dernier, en un rapport magistral, M. E. Roth a étudié la propagation de la chaleur dans les machines.

Des discussions parfois très vives, mais toujours amicales, ont porté sur la récupération en traction : l'électrification ; les court-circuits ; le déséquilibre des réseaux ; la coupure par les disjoncteurs ; les liaisons téléphoniques dans les réseaux de distribution ; la traction par accumulateurs ; la théorie des accumulateurs ; l'utilisation du courant de nuit ; l'éclairage public et privé ; l'éclairage des studios ; les phares d'automobiles et d'aviation ; l'éblouissement ; l'horlogerie électrique, etc...

Toutes ces discussions ont éclairé les questions traitées et laissé une trace durable dans la littérature technique.

Cette année, vous allez, en dehors des questions déjà en cours d'études, discuter de la stabilité des réseaux, du démarrage des moteurs, d'appareils nouveaux tels que le télétype et le stérographe, de l'organisation des services téléphoniques dans la région parisienne.

Je suis certain que toutes ces discussions porteront leurs fruits.

A côté des séances de travail, nous avons organisé, pour la pre-

mière fois, une série de visites d'usines. Cette innovation me paraît avoir eu le plus grand succès, à en juger par le nombre des inscrits qui atteint le chiffre de 95.

Je remercie ici les personnalités qui ont bien voulu nous faciliter ces visites. Je remercie aussi les Présidents de nos Sections dont vous connaissez l'activité inlassable.

Je veux, en outre, féliciter une fois de plus, M. Bunet, de l'initiative qu'il a eue en nous donnant en 1924, l'idée de ces semaines annuelles et je pense qu'en lui adressant ces félicitations, je suis votre interprète à tous.

Enfin, puisque nous sommes ici pour travailler, je vous souhaite, Messieurs, du bon travail dont nous rendrons compte dans le Bulletin de la Société, comme nous l'avons fait au cours des années antérieures.

Mettez-vous donc à vos travaux. Vous les poursuivrez j'en suis certain, avec une ardeur courageuse et vous serez dignes de nos espérances, car au sein de cette Maison, dont vous m'avez singulièrement honoré en me nommant votre Président, vous réalisez, sans aucun doute, l'importance et la valeur de vos efforts et vous ne sauriez oublier que vous êtes, Messieurs, dans la Société, l'élément intelligence, c'est-à-dire le plus précieux parmi cette Trinité des éléments : Or, Intelligence et Main-d'œuvre, grâce auxquels se réalise le Progrès de l'Humanité.

1^{re} SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

SOMMAIRE

- 1^o Discussion du rapport de M. LANGLOIS-BERTHELOT sur les échauffements limites des machines électriques et la notion de surcharge. — M. LANGLOIS-BERTHELOT : rappel de ses conclusions, p. 17. — M. BOUCHEROT : raisons s'opposant au relèvement des températures limites, p. 19. — M. ROTH : sur la température de référence et l'échauffement dangereux. — M. BOUCHEROT : échauffements et isolants, p. 21. — M. GIRAULT : isolants ; notion de surcharge, p. 22. — M. ROTH : les progrès réalisés dans la fabrication des isolants n'autorisent pas encore à élever les limites d'échauffement, p. 23. — M. LANGLOIS-BERTHELOT : réponse à M. BOUCHEROT, p. 23. — M. DARRIEUS : utilité de prescrire des échauffements modérés ; intérêt de simplifier la définition arbitraire de la puissance d'un moteur, p. 24. — M. ROTH : définition de la puissance C.E.I., d'une machine : application au cas d'une machine admettant une surcharge, p. 25. —

MM. DE PISTOYE, BOUCHEROT, BELFILS : cas des enroulements en fil émaillé, p. 26.

2° Discussion du rapport de M. LE MONNIER sur les moteurs asynchrones synchronisés.

— M. LE MONNIER : rappel de ses conclusions, p. 27. — M. BERGER : comparaison entre le moteur asynchrone synchronisé et le moteur asynchrone normal ou compensé ; inconvénients de l'emploi du fer pour les conducteurs d'une phase, p. 31. — M. MATHIVET : raisons de préférer le moteur synchrone, p. 36. — M. BUNET : comparaison des conditions de démarrage du moteur asynchrone synchronisé et du moteur synchrone, excitation, surexcitation, variation du facteur de puissance, couple maximum en marche, surcharge, fonctionnement sans excitation, entrefer, rendement, prix de revient, amortisseur, démarrage ; moteurs synchrones de très grande puissance : inversion du sens du couple : amélioration des conditions de démarrage des moteurs synchrones, p. 37. — M. BOUCHEROT : survivance des moteurs asynchrones ; utilité de connaître la limite de puissance au delà de laquelle ils cessent d'être intéressants, p. 49. — M. MATHIVET : intérêt de changer le type et la tension des moteurs à partir de 100 ch., p. 50. — M. GRATZMULLER : conditions de fonctionnement du moteur asynchrone synchronisé pour passer de la marche asynchrone à la marche synchrone, p. 51. — M. DE PISTOYE : impossibilité de donner une réponse générale à la question de M. BOUCHEROT, p. 53. — M. BERGERON : nécessité d'employer pour commander les pompes centrifuges des moteurs donnant le couple normal en fin de démarrage, nécessité de répandre la notion que le rendement réel des moteurs électriques est inférieur à celui résultant de la détermination des pertes séparées, p. 54. — M. RORN : rappel de la publication, n° 205 de la Chambre syndicale du gros matériel électrique, p. 56. — M. LE MONNIER réponse à M. BERGER, p. 57. — M. BELFILS : les moteurs asynchrones synchronisés ont des dimensions plus grandes que les moteurs compensés, p. 58.

3° Discussion du rapport de M. DE PISTOYE sur les procédés de démarrage des moteurs asynchrones, p. 60. — M. DE PISTOYE : rappel de ses conclusions sur le règlement 137 de l'U.S.E., p. 60. — M. DEFCLASSIEUX : rappel des prescriptions des nouvelles règles ministérielles du 6 juin 1928, p. 60. — M. DE PISTOYE : le facteur de puissance des moteurs asynchrones à bagues est nettement inférieur à celui des moteurs à cage, p. 60. — M. BELFILS : supériorité des moteurs Boucherot à double cage pour la reprise, après une baisse de tension prolongée ; avantages des moteurs à couplage automatique, description de dispositifs particuliers ; rappel de l'utilisation pour les démarrages, des propriétés du fer massif dans un champ à fréquence variable, p. 61. — M. MARTINEAU : causes pratiques de défaveur des moteurs à cage, p. 66. — Vu et adopté par la 1^{re} Section pour être transmis à la 4^e, p. 67.

4° Discussion du rapport de M. GRIVET sur les moteurs électriques de laminoirs irréversibles à une seule vitesse. — M. GRIVET : rappel de ses conclusions, p. 67. — M. JUNG : emploi des volants, p. 68. M. JUNG : comparaison entre la commande de laminoirs par moteur à courant continu et à courant triphasé, p. 70. — M. JUNG : considérations sur le facteur de puissance d'une installation de laminoirs. — Méthodes diverses employées pour l'améliorer, p. 74.

5° Discussion du rapport de M. BELFILS sur l'étude des différents systèmes d'excitation et leur influence sur la stabilité de marche des réseaux. — M. BELFILS : rappel de ses conclusions, p. 78. — M. FALLOU : expression en fonction de la puissance réactive du couple synchronisant définissant le degré de stabilité ; facilité du décrochage pour les grands angles de la f.c.m. et de la tension aux bornes : stabilité en régime troublé et mise à la terre du point neutre, p. 78.

6° Discussion du rapport de M. LEDOUX sur la propagation des ondes dans les enroulements. — (MM. LEDOUX, FLEGLER, FALLOU, DARRIEUS, LEDOUX, BUNET,

BENOIT, DE PISTOYE), p. 85. — Effets de la puissance réactive et ses améliorations ; réponse au questionnaire du Comité pour l'amélioration du facteur de puissance de la Conférence des Grands Réseaux (M. FALLOU), p. 101

Présidence de M. GIRAULT,

Ingénieur à la Compagnie l'Alsthom.

Le Président donne la parole à M. LANGLOIS-BERTHELOT qui résume comme suit son rapport sur les *échauffements limites des machines électriques et la notion de surcharge* ⁽¹⁾.

M. LANGLOIS. — Le problème de la prédétermination de l'échauffement des machines électriques est à l'ordre du jour de nos discussions depuis la publication de l'important mémoire de M. Roth sur ce sujet.

Le but pratique que se propose l'Ingénieur, en exécutant ces calculs, est de vérifier que la machine ne dépasse pas certaines limites de température. Aussi importe-t-il, avant tout, de bien fixer ces limites, et c'est là un autre problème, qui est à l'ordre du jour d'autres réunions où les constructeurs ont l'occasion de se rencontrer.

Je me suis proposé de montrer que, contrairement à une opinion reçue, il y a lieu de considérer pour le matériel électrique, deux sortes de limites de température, selon que le service est un service permanent ou un service de régime variable.

Remarquons d'abord que le service de régime variable est la règle dans les applications industrielles, et que la facilité d'adaptation du matériel électrique aux différentes industries, est précisément due à une certaine élasticité dans les limites de température.

Le problème général est le suivant : un usager désire utiliser dans son industrie une machine électrique. Il doit d'abord définir le service du moteur par le diagramme des couples et des vitesses en fonction du temps. Cette définition est d'ailleurs souvent fort difficile, comme M. Grivet le fait remarquer dans son intéressante communication.

L'électricien peut alors calculer sa machine et tracer, au prix de dif-

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, t. VIII, n° 86, octobre 1928, p. 1012.

férentes hypothèses et simplifications, la courbe des températures en fonction du temps. Le projet sera considéré comme viable si le maximum de la courbe ne dépasse pas le chiffre limite des règlements.

Ainsi, il y a double incertitude : dans les prévisions de l'exploitant, subordonnées à des circonstances qui ne peuvent toutes être prévues, et dans les déductions du calcul d'échauffement, qui est, malgré tout, moins sûr que le calcul électrique.

Cependant, dans la pratique, tout s'arrange, car les limites de température n'ont heureusement rien d'absolu.

En cas de service variable, les exploitants ont pris l'habitude de prononcer le mot de *surcharge*. L'une des qualités essentielles du matériel électrique est sa souplesse ou, si l'on veut, sa faculté de faire face aux surcharges. Ce mot revient constamment dans les cahiers des charges, qui ne reculent même pas devant l'expression de *surcharge permanente*.

Une surcharge est définie par sa durée et par sa nature. Pour la durée, l'usage a consacré les expressions de *surcharge momentanée* ou *instantanée* ou *intermittente*, ce qui manque de précision.

Quant à la nature de la surcharge, elle peut correspondre à une majoration du couple, ou de la puissance, ou seulement du courant. Une baisse de vitesse à couple normal, un démarrage au couple normal constituent des surcharges, si l'on entend par ce mot toute circonstance qui influe sur l'échauffement pour l'augmenter.

La question des surcharges rentre ainsi dans le problème général de l'échauffement et il apparaît logique, dès l'instant où l'on cherche à préciser la notion de surcharge pour mettre plus de clarté dans les rapports entre usagers et constructeurs, de sanctionner la surcharge par une limite de température différente de celle admise pour le régime permanent. Les raisons qui permettent de défendre ce point de vue sont développées dans ma communication.

On en arrive ainsi logiquement à distinguer deux dimensionnements possibles d'une machine électrique pour réaliser un service donné :

1° suivant la conception habituelle, on réalise une machine qui ne dépasse en aucun cas, même momentanément, la température limite des règlements actuels.

D'où une grosse machine, donnant toute sécurité, capable de fonctionner pendant autant d'années qu'on le voudra ;

2° suivant la conception que je propose, on réalise une machine qui atteindra momentanément des températures plus élevées, la durée d'application limite et la valeur limite de ces températures étant bien définies, et en relation l'une avec l'autre. D'où une machine plus petite,

de meilleur rendement, moins coûteuse, mais pour laquelle une notion nouvelle apparaît : celle de la vie de la machine.

Quand on achètera une machine d'occasion, il faudra non seulement s'assurer de son état présent, mais connaître son histoire. On va m'objecter : c'est là une idée de constructeur, pour vendre des machines, et non une idée d'exploitant, qui demande la sécurité avant tout.

Mais la sécurité ne sera pas diminuée, si l'on fixe des limites parfaitement définies. Et, de plus, c'est aller dans la voie du progrès, que de proposer le renouvellement plus fréquent d'un matériel moins coûteux.

L'exploitant demande la sécurité, mais, en général, il ne veut pas la payer : c'est là le plus souvent, dans le régime actuel des choses, la véritable cause de la surenchère.

Je n'ignore cependant pas que ma proposition est exposée à recevoir un accueil assez froid, car dans cette assemblée même, il y a différents constructeurs qui sont d'un avis opposé et, d'autre part, je risque de faire contre moi l'unanimité des exploitants.

M. BOUCHEROT. — Je m'autorise de la contribution importante que j'ai apportée, depuis plus de vingt ans, aux travaux de la commission électrotechnique internationale, pour mettre en discussion la communication, très intéressante du point de vue technique, de M. Langlois sur l'échauffement limite des machines et la notion de surcharge. Et, dès l'abord, je veux dire que l'opinion que l'on peut avoir sur ces questions est beaucoup plus philosophique que technique.

La plus grande partie des considérations et des arguments qu'apporte M. Langlois est connue de tous ceux qui ont suivi, depuis longtemps, les travaux de la Commission électrotechnique internationale. Il ne faut pas oublier, non plus, les très anciennes communications à notre Société de M. Brunswick, de M. David et nos discussions dans la Société dès 1910.

A cette époque, les échauffements que l'on admettait pour les machines étaient excessifs, l'on s'en apercevait bien pratiquement de tous côtés, et je ne me suis pas gêné pour le dire, car je ne me gêne jamais pour dire ce qui doit être dit à certains moments de l'évolution de l'Industrie électrique.

Nous étions alors quelques-uns à penser ainsi dans la commission internationale, parmi ceux-ci, je me plais à nommer le regretté Eric Gérard, et décidés à supprimer quelques abus des anciens règlements.

C'est à la réunion du Comité spécial des spécifications de la C. E. I. de 1912, à Paris, que j'eus l'honneur de présider, que l'occasion se

présenta. Nous réussîmes, entre autres choses, à faire abaisser notablement les températures limites admises (de 5 à 15° C suivant les cas) et à faire supprimer les surcharges systématiques, toutes causes de grands ennuis dans les réalisations des machines électriques.

Ces réformes importantes, qui datent, je le répète de la réunion de Paris 1912, et non comme on l'a dit, de celles de Zurich et de Berlin 1913, ont résisté jusqu'ici aux attaques plus ou moins brusquées, avec tactiques plus ou moins habiles, dont elles ont été l'objet dans la Commission internationale ; et j'ai été heureux de constater, dans ces dernières années, que les constructeurs français, qui les avaient accueillies sans enthousiasme, un peu avant et un peu après la guerre, ont été parmi leurs défenseurs. Il n'est d'ailleurs pas difficile de démêler sous quelles influences ces attaques se produisent : généralement elles se produisent de la part du constructeur, ou du groupe de constructeurs qui ont réalisé des séries qui chauffent trop et qui, alors, veulent faire admettre de plus grands échauffements pour conserver une position avantageuse dans la concurrence internationale.

Tout le monde est d'accord qu'il faut se réserver une certaine marge de sécurité entre la température maximum admissible et celles que l'on peut fixer comme limites observables suivant les circonstances, en raison des erreurs des mesures, de celles propres aux appareils et aux manières d'opérer, des erreurs du constructeur dans ses prévisions et des erreurs de l'exploitant dans ses prévisions de surcharges accidentelles. C'est seulement sur l'importance, la largeur de cette marge que l'on est en désaccord. Et j'estime, personnellement, qu'il n'y a aucune raison sérieuse, qu'il n'y a aucun progrès constructif décisif qui permette de réduire la marge adoptée depuis une quinzaine d'années.

Et voici pourquoi je répète ce que j'ai déjà dit plusieurs fois aux réunions de la C. E. I. qu'il s'agit là d'une question beaucoup plus philosophique que technique.

Ceux qui veulent réduire cette marge invoquent toujours « une meilleure utilisation de la matière » ; les Allemands, qui s'y connaissent bien en cette matière, et aussi dans la destruction, ne sont pas les moins pressants. C'est là une sorte d'hypnose !

Mais pourquoi ce souci excessif d'utilisation serait-il réservé au seul ingénieur-électricien ? Les architectes, les commerçants, les financiers, font-ils leur lit aussi près du bord de l'abîme ? Dans la construction courante des immeubles, la marge de sécurité est énormément plus considérable : il n'y a que les colonnes de certains monuments grandioses qui approchent aussi près des limites de résistance que le font les isolants de nos machines pour la température. Que dans certaines

industries, comme celle de l'automobile et l'aviation, on soit obligé, pour arriver à certaines réalisations, de pousser la contrainte à des valeurs excessives, cela s'explique! Mais que l'on porte la température limite observable des machines à des valeurs trop dangereuses pour tout le monde, pour faire des économies de quelques centièmes sur les prix, ce n'est pas admissible.

L'utilisation de la matière? Quel joli prétexte! Comme je le disais encore à Bellagio l'an dernier : nous venons de manger! Avons-nous choisi et dosé exactement tout ce que nous avons absorbé en vue d'une excellente utilisation? Alors, les vins fins, le café, le pousse-café? Avons-nous bien utilisé la matière de 1914 à 1918?

Non, ce n'est pas une question de technique! Il s'agit de savoir simplement si l'ingénieur-électricien a le droit de dormir tranquillement; ou s'il doit prendre sa retraite et mourir prématurément, de maladies mentales ou du système nerveux, comme on l'a vu trop souvent.

M. RORN. — M. Langlois a traité la question mieux que je ne saurais le faire et je veux seulement, dans mes observations m'en tenir à quelques points de détail.

Je trouve, par exemple, que M. Langlois s'engage sur un terrain dangereux quand il parle d'une température de 35° C pour l'air ambiant. M. Feldmann, Président du Comité des Spécifications, a eu raison de faire remarquer, à la réunion de la Commission électrotechnique internationale de Bellagio, que si l'on a proposé 35° C, ce n'était pas pour réduire la température de référence, mais plutôt pour augmenter les limites d'échauffement des machines.

Je trouve encore deux points dans la communication de M. Langlois sur lesquels je ne suis pas d'accord; d'abord la question de surcharge qui me semble avoir été définitivement réglée après la réunion de Genève et après la proposition de M. Boucherot et ensuite l'expression « échauffement dangereux ». Je crois que constructeurs et exploitants sont d'accord pour éliminer celle-ci des cahiers des charges; elle ne veut rien dire et permet toutes les surcharges. En aucun cas, même pour une durée très courte, la température d'une machine ne doit dépasser les limites fixées par les règlements et il faut considérer comme température dangereuse, toute température qui dépasse ces limites.

M. BOUCHEROT. — Je tiens à ajouter que toutes les observations que

j'ai exposés tout à l'heure, sont relatives à un même isolant, soit le coton, soit les isolants de qualité, etc...

Les isolants existants sont classés par la C. E. I. ; cela n'empêche pas d'en faire d'autres et si d'autres de meilleure qualité apparaissent, la commission jugera. Je répète, pour un isolant déterminé, je ne crois pas qu'il y ait lieu d'augmenter les températures actuelles.

M. GIRAULT. — Je désire présenter quelques observations au sujet de la communication de M. Langlois.

Tout d'abord, en ce qui concerne le début de cette communication, je me refuse à croire que M. Langlois veuille établir une sorte de dualisme entre théoriciens et praticiens. A mon avis, nous avons tous cette conviction que nous ne saurions être les uns et les autres ni trop théoriciens, ni trop praticiens ; la théorie et la pratique doivent chez nous marcher de pair et nous nous éloignons de l'époque où celui qui semblait sortir de l'ordinaire en tant que théoricien était mis *à priori* de côté comme praticien. Le sentiment général actuel est que les deux points de vue se tiennent étroitement et que pratique, expérimentation, théorie, doivent se prêter un mutuel appui.

En ce qui concerne les modifications éventuelles à apporter aux températures limites et aux échauffements réglementés si péniblement par la Commission électrotechnique internationale, nous sommes d'avis qu'il faudrait des résultats d'essais très précisés sur la vie des isolants en fonction des services combinés de température et de contraintes diverses qui peuvent leur être demandés ; et malheureusement, ces résultats manquent à peu près complètement. Les quelques courbes données sont des courbes d'estimation de valeur assez vague.

Il y a enfin la conception de *surcharge* : M. Langlois dit qu'il n'y a aucune objection à élever contre le mot « surcharge ». Nous ne partageons pas cette opinion ; tous ceux qui suivent, depuis quelques années, les réunions de la Commission électrotechnique internationale, ont pu constater que l'expression « surcharge » prête à ambiguïté et sert de prétexte à des « revenez-y » pour des offensives continuelles semblant avoir pour but réel, bien que caché, de faire adopter l'essentiel d'une réglementation nationale. Le cas s'est présenté à Genève dans toute son intensité.

On imagine d'ailleurs très bien que l'on puisse se passer du mot « surcharge » : il suffit de préciser à la fois le *service* pour lequel une machine est vendue et les élévations maxima de température correspondantes.

M. ROTH. — A ce sujet, je me permets de faire circuler un document qui a été publié en 1905 par la British Engineering Standards Association. Ce document, qui a certainement servi de base aux discussions de la Commission électrotechnique internationale, résume les essais effectués pendant une année pour déterminer la façon dont résistent, aux échauffements continus, les différentes catégories d'isolants, le coton, le mica, et les autres isolants normalement employés à cette époque. Comme vient de le dire M. Boucherot, il n'est intervenu, depuis cette époque, aucun changement dans la nature des isolants qui permette une augmentation de limites de température alors admises.

Les règlements font une différence entre les enroulements imprégnés et non imprégnés. L'échauffement limite des premiers est supérieur de 5° C à l'échauffement des seconds.

Nous ne voulons évidemment pas la guerre entre le constructeur et le fabricant d'isolants : tous deux ont le même intérêt, qui est celui de tout le monde, et qui est de faire durer les machines le plus longtemps possible. Je crois que les règlements actuels permettent d'obtenir ce résultat et je ne vois pas de raison pour les modifier.

Une modification de ce genre rencontrerait du reste les plus grandes difficultés, surtout si on voulait la faire approuver par la Commission électrotechnique internationale. Il n'est toutefois pas impossible que les progrès de la technique permettent, dans l'avenir, d'augmenter les valeurs actuelles des échauffements limites de certains isolants, mais pour le moment cela n'est pas le cas.

Je rappelle que le Comité électrotechnique français a approuvé l'échauffement de 90° C pour les enroulements inducteurs des turbo-alternateurs, adoptant ainsi une décision de la Commission électrotechnique internationale prise sur la proposition des Comités britannique et américain. Jusqu'à présent, toutefois, l'échauffement de 75° C a permis la construction des plus grands turbo-alternateurs dont l'industrie française a eu besoin, mais pour réaliser des puissances encore plus élevées, il est certain qu'un échauffement plus grand que 75° C doit être accepté.

M. LANGLOIS. — Les observations de M. Boucherot, qui se limitent à la comparaison entre les coefficients de sécurité admis par les différentes industries, restent d'ordre général.

Elles ne mettent pas en question l'exactitude des arguments d'ordre technique que j'ai développés.

La question reste donc entière à ce point de vue, qui est vital pour

la construction, car il met en cause la définition de puissance, qui est la grandeur commerciale fondamentale.

M. DARRIEUS. — Il est indéniable que les isolants ont fait d'énormes progrès depuis vingt ans; le fait que la discussion subsiste sur la question des températures limites, montre que la Commission électrotechnique internationale, en 1912, a été très sage en prescrivant des échauffements modérés et en indiquant qu'on ne pouvait subordonner étroitement la définition de la capacité d'une machine à une question de destruction, dans un délai plus ou moins étendu, de ses isolants; elle a rendu ainsi un grand service à l'industrie électrique, en détournant l'attention des constructeurs vers d'autres problèmes plus féconds et plus utiles.

Pour préciser ma pensée, je rappelle que Lord Kelvin a décrit quelque part la manière dont l'homme pourrait s'y prendre dans une île déserte avec les seules ressources de sa mémoire et son habileté manuelle pour reconstituer les unités de mesure; en supposant qu'un moteur démuné de sa plaque lui tombe entre les mains, il en pourra déterminer l'inductance, la résistance et beaucoup d'autres constantes physiques, mais non la puissance normale, parce que ce n'est pas une quantité qui caractérise intrinsèquement la machine, et qu'elle ne peut procéder que d'une définition arbitraire et formelle. Or, dès l'instant que ce caractère formel est bien reconnu, il y a intérêt à ce que la convention qui constitue la définition soit simple, pour être le moins possible sujette à discussion.

De ce point de vue, l'état de choses actuel représente un compromis international satisfaisant, résultat de beaucoup d'efforts de conciliation, et qu'il y a intérêt à voir durer le plus longtemps possible.

Le progrès ne consiste pas toujours nécessairement à pousser de plus en plus l'utilisation de la matière, comme en automobile ou en aviation, et pour de grandes stations centrales, dans lesquelles la question rendement était primordiale, les Américains se sont souvent, dans ces dernières années, tenus systématiquement de 10 à 15° C. au-dessous des échauffements permis par la C. E. I.

M. RORN. — M. Langlois citant l'exemple d'un moteur asynchrone à vitesse variable qui doit pouvoir réaliser son plein couple même à l'arrêt, demande quelle sera la puissance C. E. I. de cette machine. Il est hors de doute que c'est la puissance qu'elle doit fournir dans les conditions ou pour le service les plus sévères et, dans ces conditions, l'échauffement d'aucune de ses parties ne doit dépasser les limites pré-

vues par les règlements. Le cas se présente d'ailleurs fréquemment de moteurs asynchrones avec réglage de vitesse par insertion des résistances dans le rotor; le dimensionnement de ces machines est évidemment déterminé par le fonctionnement à la vitesse la plus faible et comme nous venons de le dire, c'est pour ce fonctionnement que l'échauffement doit rester dans les limites des règlements.

M. LANGLOIS. — Dans l'exemple que j'ai cité, la machine n'atteint pas son échauffement de régime à l'arrêt : sa puissance est celle qui correspond à une certaine vitesse.

M. ROTH. — Je répète que dans tous les cas, sauf peut-être pour certaines catégories de machines à marche intermittente, on peut définir une puissance C. E. I. pour une vitesse donnée, que ce soit celle du synchronisme ou une autre vitesse, puissance pour laquelle en aucun point les limites d'échauffement, imposées par les règlements, ne doivent être dépassées. Il n'y a pas de définition plus simple de la puissance d'une machine électrique.

M. LANGLOIS. — L'intérêt de la limite de puissance des machines est d'ordre purement commercial; si nous refusons de garantir des surcharges, nous mécontenterons la clientèle.

M. BELFILS. — Depuis dix ans c'est une règle de la Société alsacienne de ne proposer en aucun cas de matériel pour des conditions de marche où il dépasserait les limites d'échauffement du règlement.

M. ROTH. — La question m'a souvent été posée : qu'arrivera-t-il à une machine d'une puissance C. E. I. de 1 000 kW par exemple, lorsqu'on la fait fonctionner à 1 001 kW? Il est certain que si on voulait s'en tenir à la lettre du règlement, cette marche devrait être évitée; mais il est évident que des dépassements de ce genre peuvent être tolérés; d'une part, du fait de la marge qu'un bon constructeur prévoit dans le dimensionnement de ses machines et, d'autre part, en raison de la prudence des règlements. Mais comparons maintenant à cette machine, d'une puissance C. E. I. de 1 000 kW, une autre, fonctionnant également à 1 000 kW, mais devant être capable de fournir, le régime thermique étant atteint, une marche de 1 200 kW pendant deux heures, par exemple ou, pour employer les termes consacrés, une machine d'une puissance continue de 1 000 kW susceptible d'une surcharge de 29 pour cent pendant deux heures.

Un régime de ce genre peut évidemment répondre aux besoins d'un exploitant et il est certainement possible de construire une machine qui satisfasse à ces conditions. Mais nous imposons la condition qu'après le fonctionnement en surcharge, l'échauffement d'aucune partie de la machine ne soit supérieur aux limites fixées par les règlements. Il est donc hors de doute que cette seconde machine est différente de la machine de 1 000 kW primitivement envisagée.

Elle pourra être caractérisée par une puissance de service continu comprise entre 1 000 et 1 200 kW pour laquelle les échauffements ne sont pas non plus dépassés et qui est la puissance C. E. I. de cette seconde machine, et c'est la seule puissance qui définisse bien la machine. L'offre d'une machine devant assurer un service variable doit donc comprendre l'indication de la puissance C. E. I. continue correspondant à ce service et c'est cette puissance qui doit servir de base à la comparaison du client; c'est également à cette puissance que devraient être effectués les essais de contrôle des garanties d'échauffement. Enfin, c'est cette puissance qui figure dans les tarifs et c'est dans ce sens qu'il faut comprendre que les puissances indiquées ne comportent pas de surcharge.

Mais nous répétons que l'expression, usitée parfois, de « surcharge sans échauffement dangereux », ne peut conduire qu'à l'arbitraire et à la surcharge et rend impossible au client toute comparaison effective entre deux offres de concurrents. C'est la considération de la puissance C. E. I. qui peut seule permettre cette comparaison.

M. DE PISTOYE. — Il serait peut-être plus urgent d'étudier les températures admises pour certains isolants spéciaux comme le fil émaillé sur lequel on a maintenant des données certaines. Les températures maxima pour le fil émaillé sont actuellement encore les mêmes que pour le coton, ce qui est vraiment inadmissible. Il y a probablement d'autres isolants dans le même cas.

M. BOUCHEROT. — La question s'est posée dans diverses réunions de la Commission internationale. On était d'accord qu'il y a fil émaillé et fil émaillé, suivant que la couverture est un simple vernis ordinaire ou un véritable émail, il y a beaucoup de différence. Les Américains nous avaient promis fermement, croyant connaître la question mieux que tout le monde, d'apporter des documents intéressants sur la spécification du fil émaillé, c'était il y a 7 ou 8 ans; ils ne l'ont jamais fait.

M. BELFILS. — La classification des isolants en classe A, B, C paraît

impérative, mais en ce qui concerne l'emploi du fil émaillé, il est bien certain que des enroulements construits avec un tel fil rentrent dans la classe C si l'émail peut résister indéfiniment à une température supérieure à 115 degrés, ce qui est pratiquement le cas. Mais il importe, néanmoins, que le revêtement de ces bobines soit également un isolant de la classe C. Je ne crois pas que les avis puissent être partagés sur cette question.

M. LE MONNIER résume comme suit son rapport sur *les moteurs asynchrones synchronisés* (1).

M. LE MONNIER. — Je ne ferai que résumer brièvement mon rapport en y ajoutant toutefois deux remarques omises dans la rédaction primitive.

La construction des moteurs asynchrones synchronisés, dont la première réalisation remonte à près de 30 ans déjà, a subi des évolutions profondes au cours de ces dernières années.

On ne semble pas, en effet, avoir compris, à l'origine, que le moteur asynchrone synchronisé n'est pas et ne peut pas être un moteur asynchrone que l'on synchronise; cette erreur a pu justifier les critiques que l'on a faites des moteurs asynchrones synchronisés, mais qui ont aujourd'hui perdu toute valeur. Correspondant à un fonctionnement en moteurs synchrones, les caractéristiques de construction de ces machines doivent se rapprocher d'abord de celles de ces derniers moteurs qui sont d'ailleurs, à certains points de vue, très supérieurs aux moteurs asynchrones. Pour obtenir cette ressemblance, le moteur asynchrone synchronisé doit être muni d'un inducteur de perméabilité variable le long du pas polaire : maximum dans l'axe du pôle, minimum sur les bords du pas polaire.

Le mode le plus parfait de réalisation de ce genre de machine consiste alors à employer un secondaire à encochage uniforme, muni d'un bobinage triphasé, dans lequel deux des phases en série constituent le bobinage inducteur aussi développé que possible comme section de cuivre, la troisième phase, utilisée pendant le démarrage et jouant ensuite, en marche synchrone, le rôle d'amortisseur, étant exécutée avec des conducteurs en fer.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, t. VIII, juillet 1928, n° 83, p. 711.

C'est dans ces dispositions que réside le secret des qualités remarquables de ces moteurs par suite du double rôle que joue tour à tour cet enroulement : *circuit magnétique en marche synchrone*; *circuit électrique en marche asynchrone*.

J'ajouterai qu'il convient de remarquer que ces dispositions ne peuvent être employées avec le vieux schéma de Danielson. Si, en effet, avec ce montage primitif (fig. 1) on réalise, peut-être sans l'avoir cherché, l'amortissement qui constitue une des caractéristiques essen-

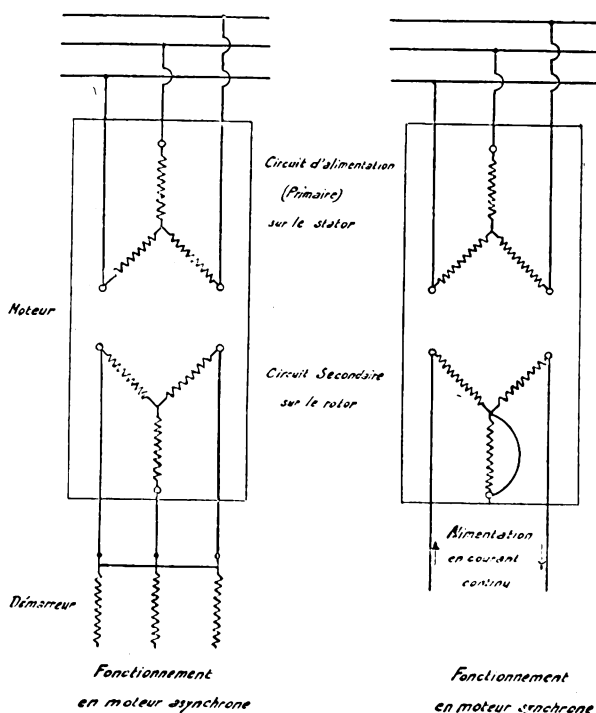


Fig 1

Fig 2

tielles des moteurs asynchrones synchronisés, les bobinages secondaires n'ont pas des rôles bien distincts comme dans le montage que nous avons décrit au début de cette étude (fig. 2).

Le circuit d'excitation local, constitué par les phases 1 et 2, peut être considéré comme jouant le rôle de circuit amortisseur par rapport au circuit général d'excitation, constitué par l'ensemble des phases 1 et 2 groupées en parallèle, cet ensemble étant monté en série avec la phase 3. Tout ce bobinage participe à l'excitation, on ne peut donc, sans risque d'échauffement exagéré, constituer le circuit local d'amortissement 1 et 2 en fer.

Le montage Danielson n'apporte donc qu'une solution imparfaite à la réalisation des moteurs asynchrones synchronisés.

Au contraire, la machine réalisée sur les bases précédemment indiquées, avec excitation externe pour les grandes puissances et alimentation directe en haute tension, avec excitation interne pour les petites puissances et alimentation directe en basse tension, supporte aisément la comparaison avec les moteurs polyphasés d'usage courant actuellement, moteurs synchrones et moteurs asynchrones, tant au point de vue du rendement que des frais de premier établissement.

Les moteurs asynchrones synchronisés se distinguent des premiers par leurs qualités de démarrage et de stabilité ; les réseaux de distribution français ne sauraient s'accommoder du démarrage trop brutal des moteurs synchrones ordinaires, tandis qu'ils peuvent, sans difficulté, accepter le démarrage du moteur synchronisé.

D'autre part, le moteur asynchrone synchronisé n'est pas sujet au « décrochage total » comme le moteur synchrone. Lorsqu'il atteint et dépasse son couple maximum, son fonctionnement présente *une simple discontinuité* dans le passage de la marche synchrone à la marche asynchrone.

Enfin, ils sont plus économiques que les moteurs synchrones à pôles saillants.

• Cette comparaison entre les moteurs asynchrones synchronisés et les moteurs synchrones à pôles saillants permet de se rendre compte de l'inutilité des efforts faits en faveur d'une solution intermédiaire qui a été préconisée et même, semble-t-il, réalisée par certains constructeurs.

Pour parer au défaut capital du moteur synchrone ordinaire, résidant dans la difficulté de mise en route de ce genre de machine, on a songé à y ajouter un organe auxiliaire de démarrage ; cet organe auxiliaire est constitué par un bobinage polyphasé, en général diphasé, logé dans les épanouissements polaires. On réalise ainsi un moteur qui peut démarrer en charge, mais dont l'accrochage ne présente pas cependant les facilités que possèdent les moteurs asynchrones synchronisés modernes. Par ailleurs, cette machine a toutes les qualités et tous les défauts des moteurs synchrones ordinaires, avec aggravation, cependant, de ces derniers parce qu'on est obligé d'augmenter les dimensions des épanouissements polaires. La construction en est en outre compliquée et délicate et, par suite, relativement coûteuse. Enfin, la nécessité d'envelopper tout l'inducteur dans le bobinage de démarrage, ne peut qu'entraver le refroidissement de cet organe.

Il ne semble donc pas que cette solution offre quelque avenir de développement.

D'autre part, les moteurs asynchrones synchronisés auraient un rendement supérieur à celui des moteurs asynchrones ordinaires si l'on faisait cette comparaison sur des bases équitables, mais on ne tient pas compte, dans l'établissement du rendement, de la dépense qu'entraîne la fourniture du courant réactif pour le moteur asynchrone, tandis que toutes les règles exigent que l'on tienne compte de la dépense d'excitation totale, y compris les pertes dans l'excitatrice pour le moteur synchrone. En outre, on néglige quant à présent, le plus souvent, les pertes supplémentaires dans le cas des moteurs asynchrones, tandis que l'on en tient compte dans le cas des moteurs synchrones. Or, ces pertes supplémentaires, qui peuvent être très importantes, n'ont pas la même valeur relative dans les deux cas. Elles sont plus élevées dans les moteurs asynchrones que dans les moteurs synchrones.

Je citerai, à titre d'exemple, le cas de moteur triphasé de 1 200 ch. à 8 pôles, 50 p/s et 6 000 V.

	Moteur asynchrone	Moteur asynchrone synchronisé
Rendement apparent pour 100	96	95,8
Rendement vrai pour 100	92,6	94,2

D'autre part, si l'on prend un exemple pour des machines de petites puissances, réalisées en moteurs auto-exciteurs, la comparaison conduit aux mêmes conclusions.

Un moteur asynchrone synchronisé de 10 ch a un rendement de 88 pour cent pour un facteur de puissance égal à l'unité, tandis que le moteur asynchrone ordinaire n'a que 87,5 pour cent pour un facteur de puissance de 0,88 en arrière.

La compensation du moteur est donc réalisée, dans le cas du moteur asynchrone synchronisé, avec diminution des pertes en même temps que réduction de la puissance réactive, alors que tous les autres procédés de compensation nécessitent une dépense supplémentaire d'énergie active.

L'objection faite parfois, avec toutes les apparences du bon sens d'ailleurs, que « l'on réalise une meilleure utilisation de la machine dans les moteurs compensés, puisque les trois phases du secondaire sont utilisées, tandis que dans les moteurs asynchrones synchronisés une phase reste inactive » est très injuste, car cette inaction n'est

qu'apparente; en fait, la présence du bobinage d'amortissement est précieuse, puisqu'elle favorise le passage du flux magnétique, facteur essentiel du fonctionnement des machines électriques.

Si l'on compare alors deux distributions d'énergie identiques, **mais** dans lesquelles les organes récepteurs seraient, dans l'une, des **moteurs** asynchrones ordinaires, c'est actuellement le cas normal, dans l'autre, des moteurs asynchrones synchronisés, on constate que le rendement global de la seconde, sera très supérieur à celui de la **première**.

Tous les éléments de la distribution ont, en effet, des rendements plus élevés : les récepteurs, ainsi que nous venons de le voir, les organes de transmission, lignes et transformateurs, parce qu'ils fonctionnent à un facteur de puissance élevé, ainsi que les génératrices.

Mais ce n'est pas au rendement seul, qui entraîne une économie journalière, que se limitera la supériorité du second mode de distribution; le poids de cuivre par cheval transporté y est, comme les pertes, moindre que dans le premier, car le poids de cuivre nécessaire est moindre à chaque échelon de la transmission : dans les moteurs du fait de leur construction, dans les lignes et transformateurs, en raison de leur fonctionnement à un facteur de puissance élevé et plus encore dans les alternateurs.

Si l'on ajoute, enfin, que la régulation de la tension sera beaucoup plus aisée, puisque les chutes de tension sont très exagérées par l'abaissement du facteur de puissance, on sera convaincu de la nécessité de l'évolution qui s'impose, dès à présent, à nos conceptions en matière de transport de l'énergie par courants polyphasés.

Cette nécessité s'impose plus impérieusement encore peut-être, à nous, Français, qui sommes plus riches en fer qu'en cuivre, qu'à d'autres qui détiennent les sources du précieux métal.

M. BELFILS présente au nom de M. BERGER la note suivante :

Dans sa « comparaison entre le moteur asynchrone synchronisé et le moteur asynchrone », M. LE MONNIER cite un moteur asynchrone de 1 200 ch à 8 pôles, 50 p : s, $\cos \varphi = 0,935$ dont les pertes « apparentes » sont de 37 kW, mais qui posséderait des pertes « supplémentaires » presque aussi importantes, s'élevant à 32 kW. D'après notre expérience, un tel moteur a 45 kW de pertes totales réelles; il est vrai que son facteur de puissance n'est que de 0,90. Il serait donc intéressant de connaître le siège et la cause de ces pertes supplémentaires; si elles résident dans l'adoption d'un entrefer très faible permettant d'obtenir par ailleurs, $\cos \varphi = 0,935$, il vaudrait mieux absorber, sous $\cos \varphi = 0,9$,

425 kVA d'énergie réactive (soit 75 kVA de plus que sous $\cos \varphi = 0,935$) et économiser $69 - 45 = 24$ kW. Par rapport au moteur asynchrone synchronisé, celui-ci se trouverait donc absorber $54 - 45 = 9$ kW de plus que le moteur asynchrone en économisant $425 + 320 = 745$ kVA d'énergie réactive, et ce résultat mérite déjà d'être signalé. Toutefois il y a lieu de souligner qu'il correspond à la condition la plus favorable à l'emploi d'un moteur asynchrone synchronisé du fait de la marche supposée à facteur de puissance 0,95 AV. Cette condition permet, en effet, d'obtenir la capacité de surcharge minimum nécessaire avec la conception normale de la machine (flux par pôle, entrefer, ampères-tours primaires), c'est-à-dire dans les meilleures conditions de poids et de prix.

Envisageons, dans le cas de l'exemple précédent, une marche à $\cos \varphi = 1$. Avec un moteur compensé, le résultat s'obtient sans modification de la perte totale, car la réduction de 20 pour cent environ de la perte Joule statorique compense les pertes du compensateur (1 kW environ) et la très légère majoration de la perte Joule rotorique et des pertes fer. Ceci suppose que le moteur asynchrone conserve identiquement sa conception initiale; si la capacité de surcharge est suffisante en asynchrone normal, elle est encore plus grande en marche compensée. Avec le moteur asynchrone synchronisé, la nécessité de conserver la capacité de surcharge impose en marche à $\cos \varphi = 1$, la même dépense d'excitation qu'en marche à $\cos \varphi = 0,95$ AV (machine à entrefer plus grand ou à flux plus grand) de sorte que la perte totale du moteur n'est réduite qu'en raison de la faible diminution de la perte Joule statorique (10 pour cent environ) et de la perte fer. Même en comptant que de ce fait les pertes réelles totales se réduisent à 50 kW, ce qui est largement comblé, l'avantage apparaît donc en faveur du moteur compensé qui ne consomme que 45 kW, sans compter qu'en cas de défaillance de l'excitatrice, le moteur asynchrone synchronisé n'est capable d'assurer aucun service en charge continue.

Comme autre exemple, nous prendrons des moteurs de 410 ch, 3 000 V, 50 p : s, 231 t : mn, commandant des compresseurs à piston. Le moteur asynchrone synchronisé est décrit dans la R.G.E. du 26 mars 1927; la S. A. C. M. a exécuté environ 70 moteurs identiques, de mêmes caractéristiques, fonctionnant, les uns en asynchrone normal et les autres en asynchrone compensé; les compensateurs utilisés sont, soit du type « à inductance négative » n'ayant aucun effet sensible à vide, soit du type « convertisseur de fréquence » assurant une marche à facteur de puissance pratiquement égal à l'unité à toutes les charges. Le tableau suivant donne les consommations relatives de ces moteurs :

	MOTEUR ASYNCHRONE			MOTEUR ASYNCHRONE SYNCHRONISÉ	
	normal	avec compensateur à inductance négative	avec convertisseur de fréquence	à excitation variable $\cos \varphi = 1$ à toute charge	à excitation constante $\cos \varphi = 0,95$ AV en charge
Pertes totales à vide en kW. . .	11,5	12,5	10,5	15	27
Energie réactive à vide en kVA .	200 absorbés	200 absorbés	50 débités	0	220 débités
Pertes totales en charge en kW .	27	26	27	28	34,5
$\cos \varphi$ en charge	0,78 AR	0,98 AR	1	1	0,95 AV
Energie réactive en charge en kVA	260 absorbés	65 absorbés	0	0	122 débités

On pourrait multiplier les exemples; mais les deux précédents correspondant à des moteurs à vitesse assez élevée d'une part et assez basse d'autre part, suffisent à montrer que le moteur asynchrone :

1° Mérite bien la confiance dont il a toujours joui; son rendement ne le cède en rien à celui d'un autre genre de machine.

2° Acquiert des propriétés plus intéressantes que le moteur asynchrone synchronisé, tout au moins pour fonctionnement à $\cos \varphi = 1$ lorsqu'on lui adjoint un compensateur. En effet, son rendement est au moins aussi bon; sa capacité de surcharge est telle qu'aucun décrochage n'est à craindre et l'exploitant ne risque pas des périodes très troublées où le moteur asynchrone synchronisé, décroché à la suite d'une surcharge qui reste relativement faible et généralement peu supérieure à celle imposée par les règlements, fonctionne en asynchrone sous un mauvais facteur de puissance moyen et avec superposition dans le secondaire de courant continu et de courant alternatif, d'où battements importants dans le courant pris au réseau à la fréquence du glissement. Le compensateur n'est pas de fonctionnement et de maniement plus délicats que l'excitatrice à basse tension; mais si l'un ou l'autre subit une avarie, le moteur asynchrone normal peut toujours assurer son service en marche continue, ce dont le moteur asynchrone synchronisé est complètement incapable.

Le moteur asynchrone synchronisé peut devenir intéressant dans certains cas dès qu'il s'agit de réaliser un moteur fonctionnant à facteur de puissance 0,95 ou 0,9 AV. Les exemples précédents nous montrent, en effet, que l'on peut produire, à partir du moteur compensé, c'est-à-dire à partir de $\cos \varphi = 1$, dans le premier cas 320 kVA en dépensant 9 kW et dans le second cas 122 kVA en dépensant 7,5 kW, et si ce dernier résultat n'est pas très intéressant au point de vue économique, le premier l'est certainement. Dans les cas où le couple à vaincre au démarrage et en vitesse reste assez faible, le moteur synchrone à pôles saillants est à comparer au moteur asynchrone synchronisé, car il permet d'obtenir plus économiquement l'énergie réactive. On peut dire en moyenne que le moteur asynchrone synchronisé produit les 100 kVA d'énergie réactive en dépensant 4 à 4,5 kW, tandis que le moteur synchrone n'en dépenserait que 3,5 kW. Le compensateur synchrone dépense pour la même production une quantité d'énergie très variable suivant sa puissance nominale, et égale à 7,5 kW pour une machine de 100 kVA, mais tombant à 3 kW pour des unités de puissances élevées.

Nous ne suivrons cependant pas M. LE MONNIER dans sa conception de « la meilleure solution du problème du transport de l'énergie. »

car qu'advient-il le jour où sur un réseau, tous les moteurs ou à peu près, fonctionneront à facteur de puissance 0,95 AV? La stabilité de marche des centrales deviendra bien précaire, et l'on verrait ce jour-là les secteurs offrir des primes à la consommation d'énergie réactive. Nous en sommes évidemment encore loin et on envisagera encore l'installation de moteurs compensés et même hyper-compensés. Dans ce dernier cas, la solution par moteur asynchrone synchronisé est à envisager et il faut féliciter M. LE MONNIER d'avoir, par ses travaux, largement contribué à la mettre en évidence.

Nous ajouterons un mot au sujet de l'emploi de conducteurs en fer pour la phase de l'enroulement secondaire non utilisée pour l'excitation en courant continu. Ces conducteurs sont sans doute isolés entre eux et par rapport aux dents, et même assez fortement isolés, en raison des tensions élevées au démarrage auxquelles on est naturellement conduit pour ne pas avoir d'autre part une tension d'excitation trop basse. En conséquence, les lignes de force passant dans ces conducteurs doivent traverser des espaces d'air correspondant à un entrefer que nous estimons de 4 à 5 mm; pour que l'induction correspondante et l'augmentation du flux total par pôle atteigne une valeur intéressante, il faudrait admettre des dents très saturées conduisant à des différences de potentiel magnétique élevées entre la racine et le bec des dents, ce qui n'est pas favorable au rendement par suite de la dépense d'excitation déjà relativement forte dans ces moteurs à enroulement réparti et de grande longueur de spire moyenne. Si le découpage des dents selon la figure 4 présente des difficultés dans le cas de tôles en une pièce, on le conçoit très bien dans le cas de machines assez importantes où les tôles sont constituées par des segments et en 1921, dans un cas difficile où il s'agissait de transformer un moteur asynchrone existant en moteur asynchrone synchronisé en changeant son rotor, nous avons déjà utilisé cet artifice, combiné avec un léger déplacement des axes des phases pour augmenter la perméance suivant l'axe des pôles. Rappelons également que la SACM a construit, avant la guerre, pour les Mines de Liévin, un moteur synchrone possédant l'entailage de la fig. 3 du rapport de M. LE MONNIER; ce moteur (850 chevaux à 107 t : mn), était à cette époque le plus puissant des moteurs asynchrones synchronisés construits et nous ne croyons pas qu'actuellement, on en ait construit de diamètre aussi grand.

J'ajouterai que l'emploi des conducteurs en fer donne, à mon avis, une augmentation assez importante du glissement en asynchrone et, par conséquent, les conditions d'accrochage doivent être rendues certainement difficiles. On a, en réalité, dans ce cas, un rotor dyssymé-

trique et il est bien certain que les courants qui circulent dans la phase en fer donnent lieu à des pertes relativement élevées et à un glissement plus grand. Donc, les conditions d'accrochage sont rendues plus difficiles.

M. MATHIVET. — Je remercie M. Belfils d'avoir bien voulu, en quelques mots, réhabiliter à nos yeux le moteur synchrone ordinaire. Je déclare de suite que j'ai dans mon exploitation des moteurs de M. Le Monnier dont le fonctionnement est excellent, notamment un moteur de lavoir de 250 ch qui, depuis 5 ans, marche 24 heures par jour, mais cependant ce que je reproche le plus au moteur asynchrone synchronisé c'est que, comme le moteur asynchrone ordinaire, il démarre par le rotor, ce qui est pour les exploitants, un inconvénient considérable. Je vais même plus loin : nous devrions chercher, je l'ai réalisé sur un moteur de ventilateur de 250 ch, à faire démarrer les moteurs asynchrones ordinaires également, par le stator.

M. Boucherot, le premier, nous a montré, il y a longtemps, comment cela se faisait. Nous nous débarrasserions ainsi, de tous les ennuis des collecteurs et des bagues.

En ce qui concerne les moteurs asynchrones synchronisés, M. Le Monnier est arrivé à des combinaisons ingénieuses, il a étudié la méthode à fond et il faudrait même garder ces moteurs dans certaines exploitations pour montrer ce qu'est capable de faire un ingénieur français. De même, certains moteurs à excitation rotorique sont très intéressants; des moteurs de l'« Alsacienne » avec compensateurs sont également utilisés, mais lorsqu'il s'agit de prendre une décision d'ensemble, je me rallie au moteur synchrone.

Du reste, M. Belfils disait que lorsqu'il s'agit de moteurs à grande puissance, peu arrivent à démarrer sous charge. J'ai lu, tout récemment encore, que les Américains arrivaient à faire des moteurs synchrones démarrant facilement sous charge et, en particulier, qu'ils faisaient des moteurs synchrones pour la commande des laminoirs. On a parlé d'un moteur en commandant un certain nombre. Est-ce exact? Quoi qu'il en soit dans la majorité des cas, je me rallie au moteur synchrone ordinaire qui est simple et donne tant de satisfaction.

Quant aux décrochages sur notre réseau, où nous avons de fortes variations de tension, les moteurs qui décrochent les derniers (ou même ne décrochent pas) sont les moteurs synchrones de la G. E. C^o. des compresseurs Ingersoll, alors que les moteurs asynchrones synchronisés sont décrochés depuis longtemps. Le moteur synchrone de 400 ch ne décroche pas si la baisse de tension ne se prolonge pas plus

de 2 à 3 minutes. Le moteur synchrone grogne, peut être décroché-il un moment, mais il se raccroche automatiquement. Une expérience de 6 ou 7 ans le prouve.

Le moteur de compresseur Ingersoll, type G. E. C°, 400 ch a l'aspect bizarre, un peu fruste, mais il fonctionne admirablement, tandis qu'un moteur asynchrone synchronisé, plus compliqué, d'aspect plus massif, contenant peut-être plus de métal, ne marchera pas mieux; ces moteurs si frustes des Américains m'ont converti à l'emploi des moteurs synchrones purs.

Je crois qu'il faudrait, en tous cas, indiquer dans quelle mesure, pour quelles puissances, il faut préférer le moteur asynchrone synchronisé et dans quels cas il faut préférer le moteur synchrone ordinaire.

Je crois que dans 80 pour cent des cas, dans une grande exploitation minière ou métallurgique, on conseillera le moteur synchrone ordinaire.

M. BUNET. — M. LE MONNIER a résumé clairement les propriétés des moteurs asynchrones synchronisés et il nous a fait part des intéressants perfectionnements qu'ont récemment reçus ces appareils, dont une bonne partie lui est due. Ce genre de moteurs présente chez nous un intérêt certain; car il résout le problème de la suppression de la puissance réactive et en même temps il permet l'obtention de couples de démarrage énergiques, en n'absorbant qu'un courant assez modéré, de l'ordre, ou seulement un peu plus, de celui des moteurs asynchrones ordinaires à bagues.

C'est cette question de démarrage qui donne au moteur asynchrone synchronisé son intérêt ici et peut le faire préférer au moteur synchrone à pôles saillants dans les pays où les règlements ou usages concernant le démarrage sont sévères. Mais il n'en est pas moins que, sur l'ensemble du globe et même en France, il existe actuellement, en marche, incomparablement plus de moteurs synchrones, et que leur construction ne paraît pas devoir cesser : le nombre de moteurs synchrones récemment mis en service en France (en ne comptant pas les compensateurs synchrones) dépasse certainement la centaine et leur puissance 100 000 kVA.

Les moteurs synchrones sont surtout employés lorsque, comme aux Etats-Unis, on se montre plus accommodant en ce qui concerne le courant de démarrage, ce qui devrait toujours être lorsque le nombre de moteurs en service à proximité les uns des autres dépasse quelques

unités. Lorsque le démarrage peut s'effectuer à couple réduit, l'emploi du moteur synchrone prend encore plus d'intérêt : cette réduction du couple résistant se rencontre, en général, pour toutes les transmissions d'ateliers avec outils débrayables; pour les groupes moteurs-générateurs, un couple égal à 15 pour cent du couple normal, s'exerçant pendant toute la durée de la mise en vitesse, suffit ; les compresseurs à pistons se contentent, ordinairement, de 30 pour cent au début du démarrage et ce couple diminue, n'étant plus que 5 à 15 pour cent lorsque, près de la vitesse normale, il s'agit de faire *accrocher* le moteur ; les pompes centrifuges et les ventilateurs se contentent souvent de 30 pour cent du couple normal au début du démarrage et de 30 à 50 pour cent à la fin. Les laminoirs sont dans des conditions analogues, et, en examinant toutes les applications, on peut dire qu'il est assez rare que l'on ait besoin de forts couples pendant le démarrage ; cependant cela arrive quelquefois et l'emploi de moteurs synchrones peut alors être rendu difficile ou impossible.

Il peut être intéressant, tout en ne cherchant à retirer aux moteurs asynchrones synchronisés ni leurs mérites, ni leurs avantages, de comparer d'aussi près que possible les deux solutions du même problème du démarrage asynchrone avec marche normale synchrone.

Au point de vue historique, on doit mentionner les réalisations faites par Labour peu après 1890. La solution qu'il adopta fut celle du moteur synchrone auto-exciteur, c'est-à-dire à induit tournant muni de bagues et d'un collecteur. Le démarrage se faisait à vide en asynchrone, les moteurs attaquant par courroie et étant munis d'une double poulie. Les premières machines furent faites pour des réseaux monophasés, donc dans des conditions difficiles, la puissance allant jusqu'à 30 ch. Puis des moteurs polyphasés de même type furent construits. L'apparition des moteurs asynchrones les fit disparaître momentanément.

Si l'on considère un moteur synchrone et un moteur asynchrone, exécutés par un même constructeur en vue d'accomplir le même service, on constate généralement de notables différences dans le dimensionnement. Pour obtenir une machine qui fonctionne à de certains moments comme un moteur synchrone, et à d'autres comme un moteur asynchrone, il faut donc admettre des compromis, et il y a, de ce fait, plusieurs solutions du même problème, chacune avec ses avantages et ses inconvénients. Le moteur asynchrone synchronisé est issu d'un moteur asynchrone ordinaire, et il en a gardé une forte ressemblance.

On peut partir, au contraire, et bien plus logiquement disent les

partisans des moteurs synchrones, puisque le démarrage ne dure qu'une fraction infime du temps de marche en vitesse dans la grande majorité des cas, d'un moteur synchrone de type normal ayant l'aspect d'un alternateur ; on le changera le moins possible en lui adjoignant juste ce qu'il faut pour qu'il ait un couple de démarrage suffisant. Les deux machines ainsi réalisées, possèdent certaines qualités et certains défauts que je résumerai comme suit, en me souvenant du temps où j'étais constructeur, en me basant sur mes observations de visiteur d'usines et d'exploitant ayant eu à voir de près, à diriger et apprécier des installations comprenant d'importants moteurs synchrones, enfin sur des renseignements techniques récents qui m'ont été donnés par des Ingénieurs spécialistes :

1° *Excitation*. — La tension normale d'excitation des séries de moteurs synchrones est généralement de 125 V pour des machines de 50 kW et au-dessus ; quelquefois, on pousse à 250 V. Le moteur asynchrone synchronisé doit se contenter de 20 et, à la rigueur de 30 V en règle ordinaire, d'après les constructeurs américains, et M. Le Monnier se limite à 10 V, peut-être trop prudemment, en n'atteignant 20 à 30 que moyennant des complications comme l'augmentation du nombre des bagues. Pour réaliser des moteurs de plusieurs centaines de kW, et pour peu qu'on veuille les surexciter, on arrive à envisager la production de l'ordre du millier d'ampères ; l'excitatrice du moteur asynchrone synchronisé est ainsi plus coûteuse, plus encombrante ; elle requiert plus de soins et d'entretien, a un rendement plus faible par suite des chutes de tension dues aux balais du collecteur et des bagues. Tout cela n'est d'ailleurs pas prohibitif.

Le choix de la tension d'excitation est déterminé beaucoup par la considération de la surtension au début du démarrage, alors que le flux tournant coupe l'inducteur avec une grande vitesse. Le moteur à pôles saillants est moins sensible à cet inconvénient ; il profite de la dispersion élevée entre les circuits du stator et du rotor. En mettant l'inducteur en court-circuit au moment du démarrage, on réduirait à zéro la tension de cet inducteur ; on ne peut toutefois, en général, disposer ce court-circuit sans trop réduire le couple de démarrage. Ordinairement, on abaisse suffisamment la tension induite au démarrage en intercalant entre les bagues, au lieu de l'excitatrice, une résistance non inductive, et il suffit généralement de lui donner 10 à 20 fois celle de l'inducteur. Si l'on adopte une résistance plus élevée, le couple de démarrage augmente un peu, tandis que le couple obtenu aux environs du synchronisme, par exemple, à 95 pour cent de la

vitesse, diminue plus sensiblement. Ainsi, avec une valeur convenable, le couple de démarrage de moteurs courants diminue de 15 pour cent par rapport au couple obtenu avec inducteurs ouverts, tandis que la puissance apparente absorbée croît de 20 pour cent ; mais le couple, à 95 pour cent de vitesse, est multiplié par 2 environ.

On peut, du reste, construire l'un ou l'autre type de moteurs pour répondre à de très diverses conditions relativement à tel ou tel point particulier.

Des partisans des enroulements inducteurs répartis indiquent comme avantage un meilleur refroidissement ; des partisans des enroulements massés sur des pôles saillants indiquent ce même avantage. Cela montre tout au moins l'inconvénient d'affirmations générales qui ne sont pas appuyées par des chiffres suffisants.

2° Surexcitation ; production de puissance réactive. — Un moteur synchrone étant établi pour une certaine charge, $\cos \varphi = 1$, on peut aisément, quitte à modifier quelque peu l'enroulement inducteur s'il est nécessaire, lui faire produire la même puissance avec $\cos \varphi = 0,8$ et déphasage en avant (générateur de puissance réactive de trois quarts de la puissance active absorbée, quitte à tolérer un peu plus d'échauffement, comme passer de 40 à 50° C.

Il est plus difficile de réaliser cela avec un moteur asynchrone synchronisé, car on dispose de moins de place pour l'inducteur.

Naturellement, l'un et l'autre type de moteurs permettent de fonctionner avec des facteurs de puissance assez bas, si l'on consent à réduire la puissance mécanique produite. Le moteur à pôles saillants est là aussi plus avantageux pour la même raison.

3° Variation de facteur de puissance avec la charge. — A excitation constante, si l'on a obtenu un certain facteur de puissance, 1 par exemple, et que la charge varie, le moteur asynchrone synchronisé montre une variation de facteur de puissance assez importante, comme $\cos \varphi = 1$ en pleine charge et $\cos \varphi = 0,7$ à demi-charge.

Le moteur à pôles saillants, de mêmes qualités générales, peut être construit dans des conditions plus diverses à ce point de vue, donnant 1 et 0,9 dans les mêmes conditions, tout aussi bien que 1 et 0,7 également si on le désire.

En passant de pleine charge $\cos \varphi = 1$ à vide, la puissance réactive débitée par un moteur asynchrone synchronisé est aux environs de 0,6 de la puissance normale. Un moteur synchrone peut être établi dans les mêmes conditions ; on peut l'établir aussi pour 0,3 au lieu de 0,6, il a plus de souplesse à cet égard.

4° *Couple maximum en marche. Surcharges.* — La difficulté de donner au moteur asynchrone synchronisé une forte excitation sans échauffement dangereux amène, d'une manière générale, à réduire le couple maximum, ou de décrochage, en le limitant à 1,5 fois le couple normal, en envisageant même de réduire quelquefois ce chiffre afin d'arriver à une meilleure utilisation.

Les moteurs à pôles saillants des séries ordinaires ont un couple de décrochage toujours 1,75 fois le couple normal sans modification de l'excitation correspondant à $\cos \varphi = 1$ et très souvent davantage, dans les moteurs prévus pour déphaser le courant en avant ou qui sont munis d'un régulateur d'excitation convenable. La garantie de 2,5 est souvent donnée pour le couple maximum, quelquefois un peu plus.

Lorsque le couple maximum est dépassé, le moteur asynchrone synchronisé perd le synchronisme, mais continue à tourner en prenant un peu de glissement, se transformant en moteur asynchrone, permettant ainsi un certain fonctionnement avec couple un peu plus élevé avant le décrochage définitif ; si le couple résistant redevient normal, le moteur se resynchronise de lui-même.

On invoque quelquefois ceci comme un avantage sur le moteur synchrone qui, mis hors de synchronisme par excès de couple résistant, s'arrête définitivement. Cela n'est souvent pas exact, car la mise hors synchronisme n'a lieu, chez les bons moteurs synchrones, que pour un couple sensiblement plus élevé que chez les moteurs asynchrones synchronisés ordinairement construits, de 20 à 60 pour cent comme nous venons de le dire. De plus, le schéma ordinaire des moteurs asynchrones synchronisés correspond au court-circuit franc d'une seule phase de l'étoile rotorique ; les deux autres phases sont fermées en série sur l'excitatrice, et quelquefois sur un rhéostat, c'est à-dire sur un circuit plus ou moins impédant. Il en résulte que, hors synchronisme, le rotor n'est pas polyphasé symétrique comme celui des moteurs asynchrones ordinaires ; il a une certaine fonction monophasée et le moteur absorbe au réseau un courant présentant des fluctuations plus ou moins importantes selon les cas ; cela a déjà été signalé.

Ce fonctionnement possible, hors du synchronisme, des moteurs asynchrones synchronisés, ne constitue pas, en réalité, un avantage même si, au moyen de relais fonctionnant automatiquement, on revient à la marche en court-circuit polyphasé direct du rotor à partir d'une certaine charge, en tolérant alors l'absorption d'une puissance réactive assez importante.

Lorsque, par suite d'incidents, la tension du réseau baisse, le couple maximum d'un moteur synchrone baisse environ comme la tension même, tandis que c'est le carré de la tension qui intervient dans le couple maximum lors d'un fonctionnement asynchrone. Cet effet est quelquefois augmenté par une baisse assez forte du facteur de puissance en fonctionnement asynchrone, à puissance constante et tension réduite. On a ainsi constaté sur des réseaux que, à la suite de perturbations, les moteurs synchrones restent seuls accrochés.

Les moteurs asynchrones synchronisés, tant qu'ils conservent le fonctionnement synchrone, possèdent ces qualités dans les limites correspondant au couple maximum qu'ils développent.

5° *Fonctionnement sans excitation.* — Ce point est intéressant quelquefois lorsque le moteur n'a pas d'excitatrice spéciale, son excitation étant prise sur des barres générales. C'est le cas de grandes installations métallurgiques, de laminoirs notamment.

En cas de rupture d'excitation, le moteur asynchrone synchronisé devient un moteur asynchrone à rotor monophasé et sa puissance baisse beaucoup ; on peut concevoir, il est vrai, un relais qui, à ce moment, rétablisse les circuits polyphasés du rotor.

Un moteur synchrone à pôles saillants, non excité, reste synchrone en développant un couple qui atteint l'ordre de la moitié du couple normal ; au-delà, il commence à glisser, en tombant vers 0,95 de sa vitesse normale si le couple résistant n'est pas trop grand.

Pour beaucoup de moteurs construits, on peut aller ainsi au couple normal avant décrochage définitif et maintenir cet état asynchrone pendant un quart d'heure sans échauffement excessif. Si l'excitation est mise à nouveau, le moteur reprend généralement le synchronisme, mais pas toujours.

Ceci ne peut toutefois être considéré comme un avantage sérieux des moteurs synchrones en général, car le facteur de puissance devient mauvais. Une telle marche peut être cependant tolérée pour l'un ou l'autre type de moteurs pendant un temps très court, par exemple, entre l'ouverture et la fermeture d'un disjoncteur ; on peut estimer que, malgré ses inconvénients, elle est préférable à un arrêt certain.

6° *Entrefer.* — L'entrefer des moteurs asynchrones synchronisés est généralement beaucoup plus petit que celui des moteurs synchrones, de l'ordre de la moitié, moins quelquefois. Il ne faut d'ailleurs pas attacher une importance exagérée à ce point, étant donné le nombre de moteurs asynchrones qui tournent sans incidents sérieux de ce chef.

7° *Rendement.* — On trouve indiqué que le rendement d'un moteur synchrone à pôles saillants est meilleur que celui d'un moteur asynchrone synchronisé fonctionnant dans les mêmes conditions. On a donné 2 pour cent comme valeur ordinaire de cette différence. Malgré l'excitation à tension plus basse, malgré l'augmentation de longueur des spires inductrices, malgré les différences des proportions générales, il semble qu'il n'y a guère de raisons pour qu'une différence très appréciable soit réelle, ceci entendu en parlant de machines bien calculées et bien construites. Un ingénieur spécialiste de moteurs à courants alternatifs, partisan d'ailleurs des moteurs synchrones, que j'ai interrogé à ce sujet, m'a indiqué 0,5 à 1 au grand maximum.

8° *Prix de revient.* — Il est difficile de donner des comparaisons décisives. On admet généralement aux Etats-Unis, que le moteur à pôles saillants est plus économique. L'enroulement inducteur en peu de grosses bobines, surtout avec du ruban roulé de champ, est plus économique que le bobinage réparti, notamment pour la main-d'œuvre, si l'on dispose d'un outillage perfectionné. Au total, il semble qu'il ne puisse y avoir une différence de principe bien grande dans un sens ou dans l'autre, toujours avec une étude et des moyens d'exécution convenables.

9° *Amortisseur.* — Il est facile de placer sur les pôles d'un moteur synchrone un amortisseur beaucoup plus efficace que ce que permet le moteur asynchrone synchronisé, au moins en règle générale.

Cette considération peut avoir quelque intérêt lorsqu'on actionne, comme c'est précisément le cas pour beaucoup de moteurs synchrones, des appareils tels que les compresseurs à piston qui ont un couple résistant extrêmement variable au cours d'un cycle de leur fonctionnement. Le rotor est donc en oscillation continue autour de sa position moyenne ; ainsi, je lisais récemment, qu'un moteur de 360 kW, 60 p : s, 40 pôles, 180 t : mn, actionnant un compresseur à ammoniaque, à deux cylindres et manivelles à 90°, aurait un balancement, dû à la variation du couple instantané, de 12° électriques dans le retard du rotor. Je ne garantis, d'ailleurs, nullement ces chiffres on a donné des écarts angulaires plus grands quelquefois.

La constitution de l'amortisseur n'est donc pas toujours indifférente.

9° *Démarrage.* — Là, le moteur asynchrone synchronisé se montre supérieur. Il démarre au moyen d'un rhéostat entre bagues, comme tout moteur asynchrone, donnant le couple normal avec le courant

normal ou seulement un peu plus si, en vue de l'adapter davantage à sa fonction synchrone, on sacrifie quelque peu le démarrage asynchrone.

Le moteur synchrone à pôles saillants démarre comme un moteur à cage d'écureuil. Aux Etats-Unis, on admet que toute installation ou tout réseau qui permet le démarrage à pleine tension d'un moteur à cage d'écureuil, permet aussi le démarrage à pleine tension d'un moteur synchrone de vitesse moyenne, soit 4 à 12 pôles. Ce démarrage est souvent garanti par les constructeurs comme sans inconvénient pour le moteur, notamment pour ses soudures. Il suffit donc de fermer un interrupteur tripolaire à simple direction, puis, le moteur étant lancé, de manœuvrer le commutateur d'excitation. On obtient ainsi des couples de démarrage importants comme 2 à 2,5 fois le couple normal, et même au delà, mais le courant absorbé est considérable, quelquefois 4 à 6 fois le courant normal, avec un facteur de puissance assez réduit; c'est généralement inadmissible.

Aussi accepte-t-on ordinairement le démarrage à couple réduit en se servant d'un auto-transformateur. On cherche la tension la meilleure pour le service opéré; on varie cette tension, si nécessaire, au cours de la mise en vitesse. Quelquefois, on admet une tension assez forte, comme 50 à 60 pour cent pour effectuer le *décollage*, et on revient assez vite à une tension plus basse afin de réaliser une bonne partie de l'accélération en absorbant un courant plus modéré. Par exemple, supposant 2,5 fois le couple normal en démarrage sous pleine tension avec 6 fois le courant normal, si l'on n'applique que demi-tension, on tombe à 0,6 fois le couple normal; le courant est alors 3 fois le courant normal dans le moteur, mais seulement 1,5 fois le courant normal sur la ligne d'alimentation.

Avec 0,4 fois la tension, on n'absorbe à la ligne que le courant normal, mais le couple de démarrage est réduit aux environs de 0,4 fois le couple normal.

Ce sont des conditions moyennes; quelquefois on atteint un peu mieux. Ainsi, on a indiqué : courant normal et demi-couple normal, mais le glissement serait peut-être un peu grand si le couple résistant est assez élevé.

Il faut ainsi procéder à une certaine adaptation des qualités du moteur à la nature de la charge qu'on lui destine. Cette étude doit être faite plus soigneusement que pour un moteur asynchrone synchronisé et présente plus d'aléa si l'on ne dispose pas de la connaissance de beaucoup de résultats pratiques.

Le facteur de puissance devient assez faible dès que le courant dans

le moteur et non la ligne, dépasse sensiblement le courant normal, la puissance réactive croissant comme $L\omega I^2$. Très souvent on atteint l'ordre de 0,5.

Une difficulté que l'on doit sérieusement envisager est la réduction du couple près du synchronisme. Si le couple résistant est un peu grand, la vitesse de régime asynchrone s'éloigne sensiblement du synchronisme. Mais si elle en est trop loin, on risque de ne pas accrocher le moteur en introduisant l'excitation. On peut d'ailleurs faire varier le couple moteur aux environs du synchronisme, ce qui correspond à modifier la vitesse obtenue avec un couple résistant donné, en agissant sur la résistance en dérivation sur les inducteurs. On augmente beaucoup ce couple en admettant momentanément la pleine tension avec un certain à-coup de courant.

Aux Etats-Unis, on se contente souvent de conditions de cette nature pour de nombreuses applications. Les séries commerciales allant de 20 à 500 kW, comprennent une grande variété de moteurs. Une forte proportion, estimée à 85 pour cent, actionne des compresseurs de divers modèles, la plupart à pistons, soit directement, soit par courroies. Nous avons déjà dit qu'ils se répandent en France également.

Moteurs synchrones de très grande puissance. — Beaucoup de très puissants moteurs ont été construits aux Etats-Unis, jusqu'à 7 000 et même 9 000 HP, ces derniers utilisés dans l'industrie du laminage. Ils sont branchés quelquefois sur des réseaux de fréquence de 25 p : s, parfois sur ceux de fréquence 60 p : s. Il y a de sensibles différences entre les caractéristiques normalement obtenues dans les deux cas. Ainsi, pour des moteurs de 7 000 HP, tournant à 100 t : mn environ, on obtiendrait en les branchant sous leur tension normale

Rapport :	$\frac{\text{Courant de démarrage}}{\text{courant normal}}$	$\frac{60 \text{ p : s}}{3,4}$,	$\frac{25 \text{ p : s}}{5}$,
Rapport :	$\frac{\text{Couple de démarrage}}{\text{couple normal}}$	1,25.	2,80.

de sorte que, en réduisant la tension du premier à 0,6 et celle du second à 0,4 de la tension normale, on obtient des couples de démarrage égaux aux environs de 0,45 du couple normal; mais, sur auto-transformateur, le premier absorbe à la ligne 1,25 fois le courant normal, le second 0,9 seulement.

Le moteur le plus puissant, probablement celui de 9 000 HP, est alimenté à la fréquence 25 p : s et tourne à 107 t : mn à vide. Il absorbe normalement à pleine charge 7 000 kW. Si on le démarrait directe-

ment à pleine tension, il absorberait 48 500 kVA ou près de 7 fois le courant normal; le couple serait 2,65 fois le couple normal. La vitesse croissant, le couple moteur commencerait par monter un peu jusqu'à 2,8 fois, puis baisserait légèrement en atteignant 2,5 à demi-vitesse, l'absorption étant de 38 000 kVA ou 5,4 fois le courant normal. Le couple moteur baisserait ensuite plus rapidement. A 95 pour cent de la vitesse synchrone, il deviendrait 1,13 fois le couple normal et on absorberait 20 000 kVA ou près de 3 fois le courant normal. Si le couple résistant était le couple normal, le moteur prendrait une vitesse égale à 97 pour cent de la vitesse synchrone; si le couple résistant était 1,5 fois le couple normal le moteur prendrait seulement 0,84 fois la vitesse de synchronisme. L'insertion de résistances variables aux bornes des inducteurs modifierait ces derniers chiffres.

On peut démarrer ce moteur avec une absorption de courant plus modérée en baissant la tension par un auto-transformateur. Par exemple, on procéderait ainsi en absorbant en moyenne le courant normal mais avec un facteur de puissance assez bas, vers 0,5 ou guère plus :

1° Admission de tension 0,4; absorption initiale de 7 800 kVA; couple 0,43 du couple normal.

On laisse accélérer; la puissance absorbée baisse; le couple reste à peu près constant après avoir légèrement monté.

On atteint 0,4 de la vitesse normale; le couple est revenu à 0,43 et on n'absorbe plus que 6 700 kVA.

On atteint 0,6 de la vitesse normale; le couple est tombé à 0,36 et on n'absorbe plus que 5 600 kVA.

2° Manœuvre et admission de tension 0,5 vers la vitesse 0,7. On absorbe 8 000 kVA; le couple est 0,48.

On laisse accélérer; on atteint 0,9 de la vitesse en absorbant 6 000 kVA avec un couple 0,34.

Pour que le moteur reste stable sur cette position de démarrage avec 0,95 de la vitesse synchrone, le couple moteur et le couple résistant doivent s'égaliser à 0,28 du couple normal; à ce moment on absorbe 5 000 kVA.

3° Introduction d'une excitation réduite, puis de la pleine tension, puis de la pleine excitation.

11° *Inversion de sens du couple.* — Il est parfois nécessaire d'arrêter vivement une installation en inversant le sens du couple moteur, ou même d'inverser rapidement le sens de rotation. Cela a été demandé pour certains laminaires.

On peut y arriver avec des moteurs synchrones à pôles saillants. Pour cela, le moteur étant en marche normale, on coupe le courant du stator; on attend une ou deux secondes afin que le flux s'éteigne, puis on passe à la position de démarrage sous tension réduite en sens inverse (par croisement de deux fils d'arrivée en triphasé). A ce moment, en règle générale moyenne, le courant est 1,15 fois le courant qui aurait été absorbé avec moteur au repos, tandis que le couple obtenu est seulement 0,75 du couple au repos. Par exemple, quand une tension de 40 pour cent de la tension normale donne au repos 0,4 du couple normal et courant normal, dans cette opération d'inversion on obtient 1,15 fois le courant normal et 0,3 fois le couple normal. C'est un effet très appréciable et meilleur qu'on ne pourrait le croire.

Le moteur asynchrone synchronisé se prête mieux à cette opération d'inversion de couple. Il donne des réductions de même ordre sur ce qu'on obtient au repos.

Amélioration des conditions de démarrage des moteurs synchrones.

— Tout bien considéré, le moteur synchrone à pôles saillants présente un certain nombre d'avantages. Il est nettement inférieur pour la mise en vitesse. On peut, comme les Américains qui ont des installations et réseaux de forte puissance, qui séparent probablement plus que nous les circuits d'éclairage, accepter ces conditions de démarrage ainsi qu'ils acceptent l'usage de moteurs à cage d'écureuil importants (jusqu'à 300 ch avec démarrage à pleine tension par simple interrupteur tripolaire quelquefois). Mais il est souvent impossible d'envisager de forts à-coups dans notre pays; même aux Etats-Unis on a étudié l'emploi de dispositifs pour les atténuer. On a parlé, je ne sais si c'est déjà en usage, de l'emploi d'amortisseurs à double cage, selon la vieille idée de Boucherot. Il y aurait, par ce procédé, une amélioration importante et certaine, amenant quelquefois à des couples doubles de ceux de la cage simple avec même courant absorbé.

D'autres artifices peuvent être envisagés, d'une manière générale tous ceux qui ont été publiés pour les démarrages synchrones. En voici un, par exemple, qui s'appliquerait ici, que nous avons signalé, Boucherot et moi, en 1910. C'est une application de l'amortisseur partiellement en fer. L'effet Kelvin fait qu'à la fréquence du réseau, lors du démarrage, la résistance de grosses barres est accrue à celle d'un tube mince. Cette épaisseur de peau augmente quand la fréquence diminue, c'est-à-dire quand le moteur accélère, la résistance est donc graduellement diminuée. Mais, même aux basses fréquences, l'effet Kelvin ne disparaît pas toujours suffisamment; on peut y remédier

grâce à une forte saturation auxiliaire des conducteurs de fer, facilement obtenue ici au moyen de courant continu traversant des spires placées autour des conducteurs de fer qui peuvent être les anneaux de court-circuit de la cage spécialement étudiés à cet effet. Le fer étant saturé, sa résistance correspond presque à sa pleine section quel que soit le courant alternatif qui la traverse; l'inductance d'effet Kelvin disparaît. Cela permettrait d'avoir une cage très résistante au démarrage et peu en vitesse; l'accrochage synchrone serait facilité.

CONCLUSION. — Jusqu'ici les moteurs synchrones n'ont pas chez nous une faveur générale quoique les installations convenablement faites, et il commence à y en avoir un nombre important, donnant toute satisfaction. Aux États-Unis, où les moteurs synchrones ont un grand succès, quoique les moteurs asynchrones synchronisés y soient bien connus, étudiés et construits, on a récemment écrit ces lignes :

« Le succès manifeste du moteur asynchrone synchronisé dans des pays étrangers tient aux raisons suivantes : le moteur asynchrone synchronisé y est recommandé par des constructeurs locaux pour tous services demandant à une machine synchrone de développer un couple de démarrage appréciable. A l'étranger, les moteurs synchrones n'ont pas été développés comme cela a été fait par les constructeurs américains, et ils n'ont pas des caractéristiques de démarrage acceptables. Le moteur asynchrone synchronisé est, par conséquent, employé fréquemment, non pas à cause de ses excellentes caractéristiques de démarrage, mais à cause du manque de moteurs synchrones ». En réalité, nos constructeurs seraient capables de faire des moteurs synchrones aussi bien que leurs confrères. Mais les circonstances ont créé une sorte de cercle vicieux : le démarrage qui est, et qui sera toujours un point délicat, a fait repousser ces moteurs par les réseaux; les constructeurs n'ont donc pas cherché à les construire en les améliorant alors continuellement. Ici, quand on voulait se servir d'un moteur synchrone, on prenait ordinairement un alternateur quelconque ou de série courante; aux États-Unis il y a des séries spéciales de moteurs synchrones, différentes des alternateurs, tout simplement parce qu'il y a une vente suffisante.

Les dimensions des encoches du stator comme des pôles, leur nombre, l'arc polaire, le pas de bobinage, l'entrefer, la nature des conducteurs et des cercles de l'amortisseur ont pour un alternateur une importance généralement beaucoup moins grande que pour un moteur. C'est l'ensemble de ces proportions, convenablement choisi, qui amène

aux meilleures conditions de démarrage, grâce à une étude raisonnée et surtout à beaucoup d'expériences.

Il résulte des conditions diverses ci-dessus que, tout considéré et surtout les exigences de nos réseaux qui évolueront mais ne changeront pas subitement, le moteur asynchrone synchronisé comme le moteur synchrone ont chacun leur place. Le premier, tenu vers $\cos \varphi = 1$ à pleine charge, sera surtout réservé lorsque l'on a besoin de forts couples de démarrage et surtout de mises en marche fréquentes; le second sera employé comme générateur de puissance réactive, correcteur de mauvais facteur de puissance, en tenant compte de ce qu'il produit des couples de démarrage moins élevés, quoique bien suffisants dans de nombreuses applications; il supporte mieux les surcharges momentanées.

Remarquons encore que, si le moteur asynchrone synchronisé est parti du moteur asynchrone pur, on l'a déjà modifié assez sensiblement. M. LE MONNIER recommande fort justement de réduire les encoches dans l'axe des pôles en s'efforçant de rétablir la continuité magnétique, puis de pratiquer, autour de cette zone centrale de flux, des encoches larges et profondes destinées à recevoir un enroulement inducteur aussi développé que possible. En faisant cela, on commence à sacrifier le couple de démarrage qui devient inférieur à celui qu'on obtient par un enroulement symétriquement et uniformément réparti.

A la limite, on retombe sur le moteur synchrone à pôles saillants.

M. BOUCHEROT. — Je suis un peu éloigné, maintenant, de ces questions et serais désireux de demander à M. LE MONNIER, et aux autres personnes qui sont au courant, quelle est la puissance à partir de laquelle le moteur asynchrone ordinaire est avantageusement remplacé par le moteur asynchrone synchronisé ou par le moteur synchrone compensé; car il me semble que dans cette discussion, il n'est question que de grandes puissances.

Depuis que je m'occupe d'électrotechnique, on a à plusieurs reprises annoncé la mort du moteur asynchrone ordinaire, qui se porte toujours très bien. Ce fut d'abord vers 1895 quand Labour eut, avec beaucoup d'adresse, réalisé l'application du moteur synchrone monophasé à quelques machines outils, ainsi que le rappelait tout à l'heure M. Bunet. Le moteur asynchrone ordinaire fut alors condamné par quelques-uns, même pour des puissances de 1 à 2 ch. Ce me fut l'occasion de faire, dans *l'Eclairage électrique* du 2 novembre 1895, (moteurs synchrones et asynchrones) une comparaison dans laquelle j'in-

diquais comment devraient évoluer l'un et l'autre pour rapprocher leurs qualités.

Un peu plus tard, vers 1900-1905, l'apparition des moteurs à collecteurs, le moteur asynchrone fut encore condamné même pour les petites puissances. Ici même nous eûmes une discussion à ce sujet : m'appuyant sur la conception que j'avais déjà très nette, de la puissance réactive, je soutins qu'il n'y avait pas de raison, *à priori*, pour produire celle-ci en détail dans chaque récepteur, quand on produit la puissance réelle en gros dans le générateur.

Il me semble que dans les deux circonstances, les faits ne m'ont pas donné tort, mais il n'est pas douteux, d'autre part, que pour les moteurs de très grosses puissances lorsqu'il n'y a pas besoin d'un fort couple de démarrage, il y a lieu de rechercher un bon facteur de puissance, puisque c'est encore une production « en gros » de puissance réactive. Il serait intéressant de pouvoir fixer la limite dans telle ou telle circonstance.

M. MATHIVET. — Il y a deux ou trois ans, j'avais fait une classification arbitraire et j'avais dit que jusqu'à 100 ch je prenais le moteur asynchrone ordinaire les autres étant trop compliqués car, dès qu'on arrive à 100 ch, les moteurs changent de tension.

Nous n'avons plus jamais chez nous et nous ne commandons plus jamais de moteurs de 100 ch à 200 V, c'est presque une rareté; s'il y en a, c'est qu'ils sont commandés depuis 20 ans. Dès que la tension change, nous démarrons par auto-transformateur. C'est la tension qui nous guide dans le choix de la puissance. J'ai toujours admis que si si nous prenions un moteur synchrone de 15 ou 30 ch, ce serait un paradoxe et qu'il ne serait pas logique de faire de la puissance réactive en détail. Dans certaines maisons, on a pensé que pour les petites puissances, on avait avantage à construire des moteurs compensés. C'est peut-être chercher la quintessence. Dès qu'on est au-dessous de 100 ch, on peut se contenter d'un moteur asynchrone ordinaire et quitte à grouper ces moteurs, avoir soit un compensateur synchrone, soit tout autre outillage qui permettra d'améliorer le facteur de puissance.

Peut-être suffit-il de faire le changement à 200 ch. Du moment qu'on change de tension, il ne serait pas agréable d'avoir des moteurs asynchrones à 3 000 V, il vaut mieux modifier les moteurs pour les hautes tensions et ne plus garder le moteur asynchrone que pour le petit moteur ordinaire de 5 à 50 ch qui s'emploie fréquemment. Ici, dans le bassin parisien, c'est une pluie de petits moteurs. Le moteur asyn-

chrone est tout à fait indiqué, quitte à améliorer le facteur de puissance par d'autres moyens, en adoptant le meilleur pour chaque cas particulier.

M. Mercier et ses ingénieurs ont étudié de près la compensation, je crois savoir qu'ils ont amélioré le facteur de puissance de l'usine. Je me rappelle avoir vu à l'Usine Delage 400 moteurs asynchrones munis chacun d'un petit condensateur. C'est une formule assez heureuse, à mon sens, et je dis donc : limitons-nous à 100 ch. Au-dessus : prenons des moteurs à haute tension. Sur 100 moteurs, j'en ai 4 ou 5 qui sont des moteurs asynchrones synchronisés.

M. GRATZMULLER. — Le moteur le meilleur à utiliser en un point d'une distribution dépend des paramètres de cette distribution. Il est inutile je crois de développer ce truisme.

Qu'il soit opportun de s'efforcer d'énoncer des règles dans ce sens, cela paraît indiscutable mais je ne prétends pas résoudre cette question.

Restons-en donc à la discussion de la belle étude de M. Le Monnier sur le *moteur asynchrone synchronisé*.

Ce moteur est caractérisé par le fait qu'il peut fonctionner : 1° en asynchrone à bagues jouissant ainsi du procédé de démarrage par insertion de résistances entre bagues; 2° en passant en vitesse à la marche en moteur synchrone excité avec du courant continu.

La caractéristique du moteur asynchrone synchronisé est donc dans le passage d'un moteur à bagues du fonctionnement en asynchrone à la marche synchrone.

Quelles sont donc les conditions pour que le moteur puisse passer de l'asynchronisme au synchronisme, quelle est la théorie de la *période transitoire* d'accrochage, quelle est la nature du couple maximum nécessaire, quelle est la surintensité, quelle est la limite du moment d'inertie tolérable?

A ma connaissance, on dit simplement *le moteur s'accroche*.

On invoque simplement la disposition d'une *tension continue* sur l'enroulement d'excitation rotorique, peut-être y-a-t-il autre chose pouvant être envisagé.

M. LE MONNIER a distingué, d'une part, le moteur d'excitatrice externe et, d'autre part, le moteur auto-exciteur dans lequel « le courant continu est prélevé sur le collecteur relié à un bobinage ayant même circuit magnétique que le moteur ».

Rappelons que l'antériorité de principe de ce moteur se trouve dans

le brevet français du 29 juin 1895 n° 248 518 et dont la rédaction est due à M. Blondel.

Dans le premier cas, il me semble que l'accrochage rappelle celui des alternateurs et doit se produire dans l'intervalle angulaire du glissement d'un pôle du rotor dans le flux résultant, tout au moins, lorsque la tension continue d'excitation est supposée constante.

En effet, pendant le glissement suivant d'un demi pôle, le couple procuré par la tension continue changera de signe.

On conçoit donc que le moment d'inertie de la partie entraînée puisse avoir un rôle capital. Cela rappelle le mécanisme d'accrochage des alternateurs synchrones.

Dans le deuxième cas, appelé moteur exciteur par M. LE MONNIER, il y a couple synchronisant pouvant se prolonger un nombre quelconque de périodes. L'accrochage peut donc se produire pour une inertie très grande et se poursuivre pendant le glissement du rotor de plusieurs pôles dans le flux résultant.

M. LE MONNIER. — Les 2 cas reviennent au même avec les dispositifs que j'ai employés.

M. GRATZMULLER. — Je ne le crois pas. Supposons, en effet, avec M. Le Monnier, le courant continu prélevé sur un collecteur relié à un bobinage ayant le même circuit magnétique que le moteur.

Les balais reposant sur le collecteur à lames, recueillent un courant alternatif à la fréquence du glissement et dont la phase dépend du calage des balais. Ce courant est introduit dans la partie d'enroulement qui sera finalement excitée au synchronisme par du continu. En décomposant les ampères-tours ainsi créés en 2 systèmes d'ampères-tours constants tournant en sens inverse, on conçoit que l'un d'eux produit un couple de signe constant par réaction sur le flux résultant du moteur et l'autre produit un couple moyen nul.

En gros, il y a donc d'une manière non transitoire 2 couples qui interviennent dans le moteur.

1° Le couple asynchrone dû au courant de glissement engendré par les forces électromotrices de glissement développées dans les enroulements du rotor.

2° Un couple asynchrone, également pulsatoire, mais toujours de même signe; il est dû au courant monophasé injecté, dans une partie de l'enroulement du rotor, par la différence de potentiel, à la fréquence du glissement captée aux balais du collecteur à lames.

Ce 2^e couple asynchrone peut amener le moteur jusqu'au synchronisme, puisqu'il est périodique mais toujours de même signe.

L'accrochage peut donc se produire avec un moment d'inertie très grand et après un glissement d'un nombre de pôles quelconque dans le flux résultant.

On peut noter qu'un phénomène du même genre se produira, dans une certaine mesure, avec le moteur d'excitatrice externe, si elle est série ou compound. En effet, un courant à la fréquence du glissement créé dans le secondaire du moteur, étant lancé dans l'enroulement série de l'excitatrice, développera, entre les balais de celle-ci, une force électromotrice dynamique à la fréquence de glissement et en phase avec le courant de glissement. Il peut donc se produire un couple asynchrone de la nature envisagée pour le moteur dit auto-exciteur.

Mais le phénomène est plus compliqué que le précédent, car le compoundage produit immédiatement du courant continu par auto-excitation.

C'est pourquoi j'aurais aimé savoir les résultats comparés avec des excitatrices shunt, série et compound.

Vous m'excuserez d'avoir osé, sans avoir expérimenté, vous soumettre ces indications, l'expérience montrera s'il y a lieu d'en tenir compte.

M. LE MONNIER. — Je ferai remarquer que l'enroulement d'excitation est peu important par rapport à l'enroulement principal et que son action est très faible.

M. DE PISTOYE. — Si l'on ferme l'interrupteur à un instant tel que l'excitation produite par le courant continu débité par les balais, renforce le champ existant, le couple sera moteur, sinon il sera résistant; de même, sur une commutatrice, l'excitation shunt peut être branchée dans le bon ou dans le mauvais sens; si on la branche à l'envers, elle réduit le flux, diminue le couple et fait décrocher la machine.

Quant à la question posée par M. Boucherot, je ne crois pas qu'il soit possible d'y répondre d'une façon générale. Si l'on considère une installation de quelques milliers de chevaux, comme celle envisagée par M. Mathivet, on peut admettre une règle fixe, et dire par exemple, comme le propose M. Mathivet, qu'à partir de 100 ch tous les moteurs seront synchrones. J'ajouterai qu'à mon avis, les moteurs asynchrones compensés doivent donner des résultats aussi satisfaisants que le moteur synchrone et même plus satisfaisants si le couple résistant est important au démarrage.

Mais il y a aussi à envisager les petites installations. Si nous considérons une installation de 8 à 10 moteurs de 1 à 20 ch, l'exploitant sera devant le problème suivant : le secteur lui faisant payer son courant réactif, il aura intérêt à le produire lui-même; peut-être, au point de vue général, M. Boucherot a-t-il raison de dire qu'il ne faut pas fabriquer le courant réactif en détail; mais dans l'état actuel de la tarification des secteurs, l'exploitant a généralement intérêt à le produire. Il aura alors intérêt à compenser seulement un ou deux moteurs qui devront être choisis parmi les plus gros; leur puissance sera donc de 20 ch seulement. Si dans une autre installation, on a des moteurs de 20 à 50 ch, on devra compenser seulement les moteurs de 50 ch. Dans les installations petites et moyennes, on a intérêt, non pas à compenser les moteurs à partir d'une puissance déterminée, mais à compenser les plus gros moteurs de l'installation.

Encore, cette règle n'est-elle pas générale : si le plus gros moteur de l'installation se trouve placé dans un endroit inaccessible, poussiéreux, exposé à des projections d'eau, il sera peu recommandable d'y mettre une machine comportant un collecteur; il ne faudra pas compenser ce moteur.

Si le plus gros moteur de l'installation a une marche très intermittente, il ne sera pas avantageux de le compenser, car le peu de durée de son fonctionnement réduira le nombre de kVA réactifs qu'il pourrait fournir. Il faudra compenser un moteur à marche aussi continue que possible.

Il est donc impossible de donner une réponse générale à la question posée par M. Boucherot.

M. BERGERON. — Je désire prendre la parole à titre d'usager pour fixer un point dont on a parlé tout à l'heure concernant les pompes centrifuges. On arrive, en effet, pour ces machines, à des couples de démarrage qui, d'ordinaire, pour des puissances relativement faibles, sont bien de 30 à 40 pour cent seulement du couple normal lorsque la vanne est fermée, mais ce sont là des conditions de démarrage qui ne sont pas nécessairement réalisées; il est souvent plus facile de laisser la vanne ouverte et la pompe prend alors sa pleine puissance au moment où elle prend sa pleine vitesse. Dans ces conditions, on a donc le couple normal en fin de démarrage; ceci est maintenant très fréquent même dans les installations avec des pompes normales, car si l'on a encore l'habitude de garder la vanne fermée, on la perd heureusement de plus en plus.

Il est, en effet, inutile d'ouvrir ou de fermer la vanne de la pompe à

chaque arrêt, et avec les installations automatiques, ce n'est même plus possible. Donc, à la fin du démarrage, et même un peu avant la pleine vitesse, on a le couple normal.

Maintenant, dans les grosses puissances et les pompes à gros débit où la question se pose de choisir le moteur asynchrone synchronisé, on a souvent des pompes centrifuges fonctionnant sur hauteurs variables, qui doivent alors obligatoirement être étudiées de manière à absorber des puissances décroissantes lorsque la hauteur diminue. Or, ces pompes absorbent leur couple normal même sur vanne fermée, c'est la caractéristique des pompes à grande vitesse spécifique de prendre ainsi le couple normal depuis le débit nul jusqu'au débit normal; dans tous ces cas, on ne peut se servir du moteur synchrone.

Dernièrement, j'ai demandé ce qu'on pouvait garantir pour le couple d'accrochage d'un moteur synchrone, et on m'a dit : 0,8 du couple normal. Or, c'était le couple normal à pleine vitesse qu'il aurait fallu obtenir, aussi on a dû prévoir des moteurs asynchrones.

M. MATHIVET. — Dans mes installations, les pompes de 150 ch sont commandées par des moteurs asynchrones.

M. BERGERON. — C'est alors qu'elles démarrent avec vanne fermée. Il y a une autre question très grave pour les usagers : c'est celle du rendement vrai des machines. Or, je vois incidemment, dans cette discussion, se révéler cette chose importante : le rendement vrai d'une machine n'est pas celui obtenu par les pertes séparées. Il est très grave que beaucoup de gens l'ignorent. Comme fabricant de pompes ou de turbines, par exemple, je donne une garantie de rendement global et je suis payé pour savoir que cela n'est pas agréable.

Dans certaines affaires, pour la Ville de Paris, par exemple, un écart de 1 pour cent sur le rendement a été tarifé à raison de 80 000 fr. de pénalités. Or, M. Le Monnier affirme qu'un rendement de 96 pour cent mesuré par les pertes séparées, est finalement diminué de 3,5 pour cent, ce qui fait la bagatelle de 250 000 fr. de pénalités; mais M. Berger prétend qu'au lieu de 32 kW de pertes supplémentaires, il n'y en a que 15, dans ce cas il n'y aurait plus que 125 000 fr. de pénalités, ce qui est encore énorme.

Je savais, il y a quelques années, étant électricien, que le rendement vrai était plus petit que celui mesuré par les pertes séparées, je le dis donc maintenant à mes clients, mais j'affirme que des ingénieurs occupant une situation éminente, sortant de grandes écoles, l'ignorent, et quand je viens leur dire qu'il faut rabattre un ou deux

points sur les rendements garantis par les électriciens, je passe pour défendre ma marchandise, ce qui n'est pas vrai. Je vois aussi des hydrauliciens ignorer la chose et prendre pour argent comptant le rendement de 96 pour cent qui leur est donné par les électriciens. C'est, à mon avis, une question de conscience professionnelle pour les maisons d'électricité de dire ouvertement quel est le rendement véritable de leur machine; tout en évitant de gros ennuis à ceux qui prennent la garantie d'ensemble, cela instruira ceux qui rédigent les cahiers des charges et dont la tendance est de forcer beaucoup les pénalités prévues.

M. ROTH. — J'ai publié plusieurs articles dans la *Revue Générale de l'Electricité* sur la détermination des pertes supplémentaires; ce n'est certainement pas la faute des constructeurs si cette question n'est pas encore mieux connue du public. La Chambre Syndicale des Constructeurs de Gros matériel électrique, s'est donné la peine de faire comprendre qu'il y a des pertes supplémentaires dans les machines, et qu'il y a des moyens pour les mesurer; ce sont les constructeurs seuls qui ont attiré l'attention du public sur ce point.

M. BERGERON. — Beaucoup d'ingénieurs, surtout dans les grandes administrations, ignorent tous ces travaux.

M. ROTH. — La publication n° 205 de la Chambre Syndicale des Constructeurs de Gros matériel électrique, donne à ce sujet tous les détails nécessaires. Je crois que dans aucun autre pays, il n'existe d'indications aussi complètes sur les pertes supplémentaires dans les machines électriques, y compris les moteurs asynchrones.

En ce qui concerne ces derniers, la Chambre Syndicale a proposé que, pour les puissances supérieures à 1 000 ou à 500 ch selon les polarités, les pertes supplémentaires sont à déterminer par un essai en court-circuit, comme pour les alternateurs. Nous nous sommes limités à ces puissances, car il ne serait pas possible d'effectuer cette mesure sur les moteurs asynchrones de faible puissance, mais un constructeur doit vous donner les garanties tenant compte des pertes réelles.

M. BERGERON. — C'est la communication de M. Le Monnier qui a attiré mon attention. Quand j'ai questionné deux maisons d'électricité, il y a deux ou trois ans, elles auraient dû déjà me répondre : pour trouver le vrai rendement, il faut faire les essais de telle et telle façon. A ce moment, j'ai rabattu d'autorité deux points sur le rendement qui

m'était donné, je vois que je n'ai pas été trop mal inspiré, puisqu'il peut varier de 3 points $1/2$ à 1 point $1/2$. Mais en le faisant, j'étais défavorisé par rapport à d'autres hydrauliciens qui acceptaient tel quel le rendement donné par les pertes séparées.

Vous êtes en présence de plusieurs catégories d'ignorants : les fonctionnaires d'une part, qui sont absorbés par d'autres travaux, et les hydrauliciens qui ne sont pas électriciens. Si je ne suis pour ma part qu'un tiers d'ignorant ayant eu la chance d'être autrefois électricien, il n'en est pas de même pour beaucoup d'autres. Il faudrait donc dire officiellement que le rendement par pertes séparées est plus grand que le rendement vrai.

M. ROTH. — C'est une question délicate et qui fait l'objet actuellement des études de la Chambre Syndicale du Gros matériel Electrique et de la Commission électrotechnique internationale. Dans deux ou trois ans, je pense, des règles internationales seront établies, mais, dès maintenant, le règlement français n° 205 existe et est à la disposition des intéressés.

Pour les transformateurs et alternateurs, les pertes supplémentaires sont assez exactement données par la mesure des pertes en court-circuit. En ce qui concerne les moteurs asynchrones, la même méthode de mesure a été préconisée, le moteur fonctionnant en génératrice. C'est encore cette méthode de mesure par un fonctionnement en court-circuit que M. Le Monnier a proposée pour les machines à courant continu. Toutes ces questions, comme je l'ai déjà dit, sont actuellement soumises à l'examen de la Commission électrotechnique internationale.

Si je parle de cette question, c'est que M. Bergeron l'a soulevée, mais ce que j'en ai dit ne peut être qu'une indication susceptible d'être modifiée dans les années qui viennent, tant qu'une réglementation définitive n'est pas intervenue à cet égard.

M. LE MONNIER. — Les divergences, que M. Berger fait ressortir dans sa réponse, au sujet de la valeur des pertes supplémentaires, montrent combien la question mérite d'être étudiée, et combien il serait imprudent de vouloir la trancher par un système de coefficients fixes comme cela a été proposé. D'après les exemples cités, le même moteur peut être traité de façons très différentes, soit avec un facteur de puissance plus élevé et des pertes supplémentaires plus grandes, soit avec un facteur de puissance plus faible et des pertes supplémentaires plus réduites que dans le premier cas.

J'accorderai volontiers, par ailleurs, à M. Berger que je ne me suis pas appliqué à envisager le cas le plus défavorable de l'emploi du moteur asynchrone synchronisé, tandis que je crains qu'il ne soit tombé dans cet écueil. Les valeurs qu'il indique, en effet, pour les consommations d'énergie réactive correspondant à la production de 100 kVA d'énergie réactive, sont peut-être exactes pour des moteurs asynchrones synchronisés du type Danielson, mais les moteurs construits par la Compagnie Générale électrique de Nancy sur les bases précédemment indiquées, ont des consommations moyennes bien inférieures, aux valeurs de 4 à 4,5 kW. A partir de 100 kVA d'énergie réactive produite, c'est-à-dire pour des moteurs de 400 ch environ, la consommation est inférieure à 3,5 kW, c'est-à-dire la valeur même que M. Berger indique pour les moteurs synchrones à pôles saillants. Or, cette puissance de 400 ch correspond bien à la puissance moyenne de réalisation des moteurs asynchrones synchronisés.

Après avoir examiné les craintes que pourrait inspirer le fonctionnement du réseau « de l'Avenir » où tous les moteurs fonctionneraient avec un facteur de puissance de 0,95 AV, M. Berger a soin de nous rassurer immédiatement sur cette sombre éventualité.

Il y a un point cependant sur lequel il me semble qu'il n'ait pas suffisamment insisté. Ce fonctionnement à facteur de puissance égal à 0,95 AV ne s'applique qu'aux moteurs de puissance relativement élevée à excitation externe, tandis que les moteurs auto-exciteurs de moyenne puissance de 5 à 50 ch dans leurs meilleures conditions d'utilisation, ont un facteur de puissance voisin de 1, mais avec décalage en arrière pour des couples compris entre le 1/4 du couple normal et un couple égal à 1 fois 1/2 le couple normal ; or, ces petits moteurs constituent la plus grosse part de la clientèle de force motrice des réseaux. Si l'on tient compte également de la présence des transformateurs qui les alimente, on voit que l'on s'acheminera seulement vers l'amélioration du facteur de puissance, en généralisant l'emploi de ces moteurs, sans avoir à craindre de difficultés du fait de l'instabilité de marche des centrales.

M. BELFILS. — Je crois que le moteur asynchrone synchronisé est, toutes choses égales, plus grand que le moteur asynchrone compensé. Dans le moteur asynchrone synchronisé, en effet, le rotor doit permettre au moteur de supporter les surcharges admises, c'est-à-dire que les ampères-tours du rotor doivent être, par exemple, égaux à deux fois la partie active des ampères-tours du stator, si on s'impose un couple de décrochage de deux fois le couple normal ; dans le moteur asyn-

chrone compensé au contraire, le courant magnétique atteint seulement de 30 à 40 pour cent du courant normal et les ampères-tours que doit porter le rotor restent faibles par rapport à ceux du moteur asynchrone synchronisé.

M. LE MONNIER. — En admettant qu'ils fonctionnent avec le même flux, ce qui n'est pas le cas.

M. BELFILS. — Quoi qu'il en soit, le produit « flux » par « ampères-tours » est environ deux fois plus grand, dans l'hypothèse admise, dans le moteur asynchrone synchronisé que dans le moteur compensé, et dans ces conditions on est conduit à un diamètre plus grand pour le moteur synchronisé.

M. LE MONNIER. — Pratiquement, pour les petites puissances on arrive à des dimensions plus intéressantes avec les asynchrones synchronisés qu'avec les asynchrones compensés.

M. BELFILS. — Le moteur à pôles saillants est légèrement plus petit que le moteur compensé ; l'origine de cet avantage est dans la disposition plus facile du cuivre inducteur sur un diamètre donné. En dehors de cette meilleure utilisation, un gros avantage du moteur à pôles saillants réside dans la réduction de la spire moyenne de l'inducteur, réduction qui tient à la fois à son embrasement plus faible et à la longueur réduite de ses parties frontales ; le rendement en est très favorablement influencé ; pour toutes ces raisons, le cuivre est beaucoup mieux utilisé sur une machine à pôles saillants que sur une machine asynchrone synchronisée.

Quant à la forme du flux inducteur, je ne crois pas que dans un moteur asynchrone synchronisé, qui est toujours à petit nombre d'entailles à l'inducteur, elle soit plus avantageuse. Dans une machine à pôles saillants avec entrefer croissant du centre du pôle aux extrémités, on doit avoir une répartition du flux à peu près aussi favorable.

M. LE MONNIER. — Mais il se produit des pulsations.

M. BELFILS. — En ce qui concerne les pulsations de denture, on sait bien rendre leur influence négligeable, soit par le choix de la division au stator et au rotor, soit par l'ouverture plus ou moins grande des encoches.

M. DE PISTOYE résume son rapport sur les procédés de démarrage des moteurs asynchrones ⁽¹⁾.

Puis il ajoute : J'insiste particulièrement sur ce fait qu'au point de vue réglementaire et administratif, la question est actuellement régie par le règlement 137 de l'Union des Syndicats de l'Electricité, approuvé par le Ministre des Travaux Publics le 22 août 1924. Ce règlement prévoit, par ses articles 94, 96 et 98, qu'au-dessus de 1 kW, les moteurs seront pourvus de rhéostat; les moteurs à cage sont donc exclus au delà de cette puissance. C'est de ce règlement que viennent toutes les difficultés qui paralysent en France le développement des moteurs à cage d'écureuil.

M. DEFLASSIEUX. — Une nouvelle édition du règlement 137 doit être mise en concordance avec les règles ministérielles du 6 juin 1928 sur les installations de 1^{re} catégorie.

Ce nouveau règlement est très légèrement plus libéral que l'ancien, en ce qui concerne les courants de démarrage des moteurs de 1 à 5 kW et n'impose plus le rhéostat de démarrage, ce qui permettra d'installer dans certains cas des moteurs à cage; mais, par contre, il limite de façon assez stricte les courants de démarrage des moteurs de 0,4 à 1 kW, de sorte qu'il faudra dans certains cas munir des moteurs de rhéostats. Ce sera là une sérieuse aggravation de l'état de choses actuel.

M. DE PISTOYE. — Cette observation me conduit à insister sur la question du facteur de puissance des petits moteurs à bagues : ceux-ci sont nettement inférieurs aux petits moteurs à cage sous ce rapport. Sur le petit moteur à bagues, on manque de place pour loger le cuivre sur le rotor ; on est donc obligé, ou bien de réduire de façon exagérée la section des conducteurs rotoriques, ce qui conduit à des glissements excessifs et à de mauvais rendements, ou bien à réduire la section du fer de la denture, ce qui augmente les courants magnétisants et abaisse le facteur de puissance à toutes les charges, et surtout aux faibles charges. Pour se rendre compte de cette infériorité du moteur à bagues, il suffit de prendre le règlement allemand. Il prévoit, pour les petits moteurs à bagues de 1,5 ch, des facteurs de puissance de 6 points inférieurs à ceux des moteurs à cages correspondants et,

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, t. VIII, août 1928, p. 776.

comme je le disais à l'instant, la différence s'accroît aux faibles charges. Il est déplorable que les secteurs, qui se plaignent du mauvais facteur de puissance de leurs abonnés, leur imposent le type de moteur qui est précisément le plus mauvais sous ce rapport, avec le nouveau règlement signalé par M. Deflassieux, cet inconvénient sera encore amplifié, puisqu'il conduira à construire des moteurs à bagues encore plus petits.

M. BELFILS présente la note suivante : M. de Pistoye nous a exposé, avec une remarquable clarté, les nombreux systèmes de démarrage des moteurs asynchrones; il nous montre, en particulier, les avantages du moteur en cage d'écureuil, et il est intéressant de constater qu'en de nombreux pays, ce matériel a pris un développement considérable, alors qu'en France les réglementations en vigueur en ont empêché le libre développement. Je me souviens qu'au cours d'un voyage d'études aux États-Unis, en 1920, j'avais été frappé par la prédominance des moteurs à cage d'écureuil, alors qu'en France, au-dessus de 5 ch, ils demeurent encore l'exception.

Je n'insisterai pas davantage sur ce sujet et je ferai simplement remarquer l'anomalie existant du fait que sur le même feeder de distribution où, sur le même réseau autonome, on tolère le démarrage à 1,5 fois le courant normal de moteurs très puissants, 200 ch par exemple, alors qu'un moteur à cage d'écureuil de 10 ch, installé sur ce même feeder, n'absorberait, en démarrant sous pleine tension, que $1/5$ du courant absorbé par le gros moteur; dans le cas d'une cage d'écureuil Boucherot, cet à-coup passerait à environ $1/10$ de l'à-coup du gros moteur.

Le résultat des règlements en vigueur et, dans une certaine mesure, des habitudes de la clientèle, fait que le moteur à cage d'écureuil ordinaire, aussi bien que le moteur à double cage Boucherot, sont prohibés toutes les fois que le couple à développer au démarrage devient supérieur à 0,4 du couple normal pour le moteur ordinaire et à 0,7 du couple normal pour le moteur à double cage; il existe, il est vrai la solution de l'adjonction d'une poulie embrayeuse, qui doit faire l'objet d'un exposé de M. Bethenod; mais, en tout état de cause, il paraît certain que la non-généralisation de l'emploi du moteur Boucherot tient à la limitation de ces courants de démarrage et, partant, des couples réalisables imposés par les secteurs.

Il est à noter, d'ailleurs, qu'en dehors de l'appel de courant plus grand au démarrage, tous les moteurs d'induction, qu'ils soient à rotor bobiné ou à cage d'écureuil, se comportent à peu près de la même façon lors de perturbations telles que de brusques baisses de

tension survenant sur les réseaux; le moteur à double cage d'écureuil présente même, dans ce cas, des avantages sur le moteur ordinaire, provenant de ce que le couple à l'arrêt est de l'ordre de grandeur du couple maximum; dans le cas d'un manque de tension prolongé entraînant, soit une baisse de vitesse très importante, soit même l'arrêt complet, le moteur repartira avec un couple important; tandis que le moteur ordinaire, dont les bagues sont restées court-circuitées, ne pourra développer qu'un couple très faible; pour une perturbation donnée sur le réseau, les moteurs ordinaires peuvent donc déclencher, tandis que les moteurs à double cage, après avoir ralenti, reprennent leur fonctionnement normal. Nous ajouterons qu'au point de vue de la centrale, la remontée de la tension après un court-circuit serait plus aisée si le réseau ne comportait que des moteurs à double cage, puisque leur impédance en fonction de la vitesse est moins variable que celle des moteurs ordinaires.

Dès qu'on s'écarte du caractère de simplicité du moteur à cage d'écureuil simple ou double et que l'on cherche à réaliser des couples importants de démarrage, sans à-coups de courants sensiblement supérieurs aux courants normaux, on se heurte à des dispositifs compliqués et coûteux qui ne sont guère applicables économiquement que dans des cas bien particuliers.

Il nous semble que c'est une des raisons, jointe à la facilité de la commande à distance, qui ont permis la diffusion des moteurs à coupleurs automatiques.

Leurs dispositifs de fermeture du contact semblent s'être perfectionnés beaucoup ces dernières années. De plus, la généralisation de l'emploi de coffrets de branchement munis de relais thermique de déclenchement à constante de temps bien définie par rapport à celles du moteur et des résistances tournantes, élimine les risques d'avarie au cas où, par suite d'une baisse de tension inopportune ou d'un couple résistant exagéré, le moteur ne prend pas suffisamment de vitesse pour assurer l'enclenchement des contacts successifs.

Aussi, il est à prévoir que le matériel à coupleurs automatiques, par l'adjonction au stator d'un dispositif de protection particulier, trouve un renouveau de succès, plus particulièrement lorsque le couple à développer au démarrage et les règlements en vigueur excluent l'emploi du moteur à cage d'écureuil et de ses dérivés, ou dans le cas de démarrages à distance.

La Société alsacienne construisait, dans ses débuts, un couplage du rotor en opposition du type Görges. Chaque demi-phase du rotor est, au démarrage, connectée en opposition avec une autre demi-phase décalée de 120 degrés.

Dans ce cas, la résistance équivalente au rotor se trouve multipliée par 4. La réactance équivalente au rotor se trouve également notablement augmentée; le démarrage s'effectue sur un cercle réduit et il en résulte un facteur de puissance au démarrage plus petit que celui que l'on obtiendrait en insérant une simple résistance morte dans le rotor. La vitesse atteinte au démarrage est aussi plus faible et le deuxième à-coup se trouve augmenté; mais, néanmoins, ce système est encore fréquemment employé.

Ce système de démarrage est perfectible et il est aisé de multiplier les temps. La Société générale de Constructions Electriques et Mécaniques vient de déposer une disposition de rotor permettant le démarrage en 4 temps sur un rotor en opposition sans une grande complication de connection, grâce à la combinaison d'une petite résistance tournante avec l'ancien schéma de Görges.

A cet effet, l'enroulement de chaque phase du rotor est divisé en 3 parties telles que A_1D_1 , D_1B_1 et B_1C_1 , les 2 parties A_1D_1 et D_1B_1 étant égales et la partie B_1C_1 étant couplée en opposition avec la fraction $A_1D_1 + D_1B_1$ (fig. 3). Une résistance supplémentaire C_1A_1 est inter-

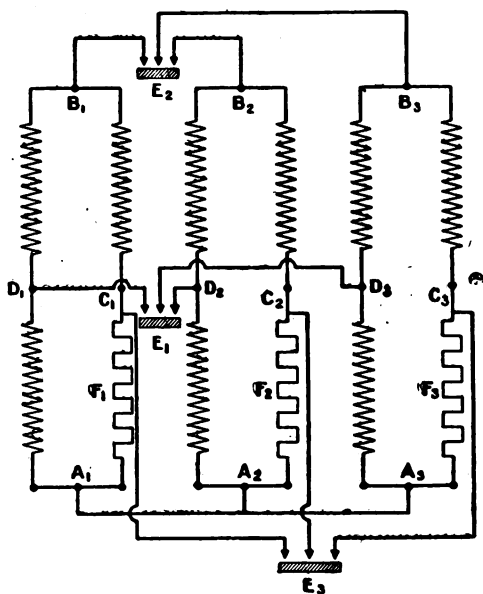


Fig. 3. — Composition d'un rotor, opposition avec une résistance tournante de façon à réaliser un démarrage en 4 temps.

calée dans chaque phase séparée, les points $A_1A_2A_3$ étant seuls connectés à une étoile.

Les deuxième, troisième et quatrième temps sont obtenus par la fer-

meture successive de points neutres en C, en D puis en B. Si les parties telles que A_1D_1 de l'enroulement comportent une fraction $\frac{1}{\alpha}$ du nombre de spires et si l'on donne une valeur convenable à la résistance supplémentaire, on peut obtenir, aux différents temps, la répartition suivante des résistances équivalentes au rotor :

$$\alpha^3 R \quad \alpha^2 R, \quad \alpha R, \quad R$$

cette répartition est évidemment favorable à l'égalisation des à-coups de courant; à titre d'exemple, sur un moteur de 9 ch ayant en marche normale un glissement de 4,5 pour cent et dans le cas d'un couple résistant au démarrage égal au couple normal, les à-coups aux différents temps sont respectivement :

$$1,6 \quad 1,9 \quad 1,8 \quad 1,8 \text{ fois le courant normal;}$$

et les glissements sur chaque position sont :

$$58 \quad 27 \quad 13,5 \text{ pour cent.}$$

L'écart des vitesses entre les différents temps est très grand et, par conséquent, le réglage des vitesses d'enclenchement des différents contacteurs est facile.

Il est à noter que l'on a intérêt à répartir les fractions d'enroulement AD, DB et BC dans toutes les encoches du rotor, de façon que la dispersion ne soit augmentée sur aucune des positions de démarrage.

A notre avis, un tel dispositif présente un grand avantage sur l'emploi unique de résistances tournantes fractionnées, car la plus grande partie de l'énergie à dissiper dans le rotor est répartie dans l'enroulement complet du rotor dont la capacité thermique est infiniment plus élevée que celle que l'on peut donner pratiquement aux résistances tournantes; nous ferons remarquer que la résistance supplémentaire CA n'a à dissiper qu'une très faible partie de l'énergie totale libérée au rotor, 8 pour cent environ dans le cas précédent. Elle peut donc être dimensionnée très largement et, comme nous l'avons indiqué précédemment, l'ensemble est aisé à protéger par l'emploi dans le circuit d'alimentation d'un relais à temps, de préférence thermique, convenablement dimensionné.

En ce qui concerne la remarque de M. de Pistoye concernant les dangers de déclenchement du coupleur en cas de surcharge ou de baisse de tension, nous ferons remarquer que la question a été résolue depuis de longues années; la Société Alsacienne employait une disposition de la partie mobile du coupleur établie de telle façon qu'une fois le mouvement d'enclenchement commencé, il se produit, d'une part, une augmentation très marquée du rayon de giration des masses

assurant le mouvement et une réduction du bras de levier du ressort antagoniste; ces deux effets font que la vitesse de déclenchement peut être amenée aisément à être de 0,1 à 0,25 de la vitesse d'enclenchement; elle est donc bien inférieure à celle correspondant au couple maximum des moteurs.

A titre documentaire et dans un intérêt purement historique, nous rappellerons, pour terminer, les nombreux essais qui ont été tentés à différentes reprises pour l'utilisation des propriétés du fer massif soumis à un champ ou parcouru par un courant de fréquence variable. Cette utilisation a donné lieu à différents brevets et nous rappelons en particulier le système Fischer Hinnen, qui paraît être le plus ancien et le brevet de M. Neu n° 400 649; ces deux auteurs ont proposé le remplacement du rhéostat de démarrage connecté au rotor, par une inductance triphasée en métal magnétique non divisé. Dans le brevet Meyer n° 365 734, le démarrage s'effectue sur une cage d'écureuil constituée par des barres en fer de section circulaire placées en-dessous de l'enroulement qui est ouvert au démarrage; un dispositif à main ou à force centrifuge court-circuite cet enroulement dès que le moteur est démarré. On constate, expérimentalement, qu'avec de tels dispositifs on peut aisément réaliser un facteur de puissance au départ très acceptable, de l'ordre de 0,65, mais le moteur ne prend pas de vitesse, le courant absorbé se déphasant de plus en plus et par conséquent les glissements étant très élevés pour un couple donné. Ceci s'explique aisément, car à mesure que la fréquence rotorique diminue, l'augmentation de l'épaisseur de coque de circulation des courants dans les barres de la cage en fer et des courants induits dans le fer des noyaux massifs de l'inductance est accompagnée d'une augmentation de la coque de circulation du flux. Théoriquement, si la perméabilité du fer était invariable, on aurait un facteur de puissance secondaire constant et correspondant à un déphasage de 45° .

Cette augmentation de la réactance équivalente au rotor, au fur et à mesure de la mise en vitesse du moteur, est donc inhérente à ce mode de démarrage qui ne pourrait être envisagé qu'à la condition de tolérer un premier appel de courant important, auquel cas il ne présente certainement aucun avantage par rapport au moteur à double cage. Il est à noter cependant, que le démarrage sur inductance à noyau magnétique non feuilleté est encore employé à l'heure actuelle par une maison anglaise sur des moteurs de rouleaux d'aciéries à inversion de marche continue. La simplicité et la robustesse de ce dispositif font que l'on semble passer, dans ce cas, sur les inconvénients du mauvais facteur de puissance et de la réduction du couple.

M. GRATZMULLER. — Je tiens à m'associer aux conclusions de M. de Pistoye qui doivent finir par s'imposer, comme conformes, à la fois à la logique, aux intérêts des constructeurs et à ceux des exploitants.

M. DE PISTOYE. — J'espère, comme M. Gratzmuller, que la défiance témoignée par les exploitants à l'égard des moteurs à cage disparaîtra; je n'en suis toutefois pas certain, car il y a quelques années, à l'une des commissions de l'Union des Syndicats de l'Electricité qui discutait cette question, j'ai émis l'opinion que ce qu'il fallait réglementer, c'était le courant de démarrage, et non le type de moteur, et qu'il convenait de laisser le constructeur libre de réaliser comme il l'entendait ce courant de démarrage; cette proposition n'a même pas été prise en considération.

M. BUNET. — M. de Pistoye a évidemment raison. Mais dans cette question de moteurs à cage d'écureuil, il y a sans doute des malentendus, dont celui-ci : les constructeurs, tout simplement parce que l'on n'en commande pas, n'ont pas étudié spécialement de séries au-dessus de 1 ou 2 chevaux. J'ai pu constater qu'on s'est quelquefois contenté, dans les rares cas où de plus puissants étaient demandés, de remplir, sans plus d'études, avec des barres de cuivre sous la main, les encoches de rotors étudiés pour des moteurs à bagues. Il en résulte parfois de mauvais démarrages et, en particulier, l'absorption de courants élevés, comme 6 ou 7 fois le courant normal, et les distributeurs ont gardé le souvenir de ces cas fâcheux. Une nouvelle réglementation raisonnable déterminera certainement l'apparition de moteurs à cage bien étudiés, fonctionnant à la satisfaction générale.

M. MARTINEAU. — J'ai eu personnellement beaucoup d'ennuis avec un moteur de 10 ch à cage d'écureuil commandé à distance au fond d'un puits, qu'on a été obligé de rebobiner deux ou trois fois : difficulté de manœuvre de la part du personnel pas très expérimenté — le moteur étant à la campagne — *on a été obligé de supprimer complètement la manœuvre du moteur en étoile-triangle qui donnait des résultats néfastes*; chaque fois qu'on l'a essayé, le moteur a grillé; pour le faire démarrer, il a fallu se servir d'un alternateur en baissant sa tension.

Un autre petit moteur en *étoile-triangle* faisant fonctionner un ventilateur a toujours donné des *démarrages déplorables*, tandis que dans le secteur, des moteurs à résistance dans le genre de ceux qui viennent d'être exposés, ont très bien marché et ont donné de bons résultats.

En ce qui concerne les secteurs, l'objection qu'on fait de façon générale contre les moteurs à cage d'écurueil est exactement la même, au point de vue pratique, que celle des constructeurs électriciens vis-à-vis des exploitants, lorsqu'ils ne veulent pas garantir un rendement déterminé.

Les constructeurs se placent au point de vue des méthodes de contrôle qui seraient trop onéreuses pour le matériel vendu; l'exploitant se place dans des conditions exactement pareilles. Si un petit exploitant est obligé d'envoyer un ingénieur faire une mesure pour déterminer si un petit moteur a bien un faible courant de démarrage, chez un client quelquefois éloigné, c'est onéreux pour lui, et, de façon générale, il arrive qu'on supprime radicalement les moteurs à cage d'écurueil et qu'on demande des moteurs à résistance.

M. le Président propose à la Section, qui accepte, d'émettre le vœu suivant qui sera transmis à la 4^e Section pour examen et pour transmission éventuelle ultérieure à qui de droit.

« La robustesse, la facilité d'entretien et autres qualités des moteurs à cage unique ou à cages multiples de Boucherot, justifient le développement de leur emploi *dans l'intérêt général*. L'Allemagne, l'Angleterre, l'Autriche et l'Amérique nous donnent l'exemple à suivre.

« La Section émet le vœu que les conditions imposées par le démarrage des moteurs asynchrones à bagues restent indépendantes de la nature du moteur, qu'il soit ou non à bagues.

« Si une réglementation de faveur peut être adoptée, elle doit l'être au bénéfice du moteur le plus robuste et exigeant le minimum d'entretien ».

M. GRIVET, Ingénieur en Chef du service électrique des Forges et Aciéries de Denain et d'Anzin, présente son rapport sur *les moteurs électriques de laminoirs irréversibles à une seule vitesse* (1). Sa conclusion est la suivante :

Les deux grandes catégories de laminoirs irréversibles, avec et sans volant, continueront à exister parallèlement, mais la première catégorie diminuera peu à peu d'importance.

L'évolution paraît devoir se faire, d'une part, vers une spécialisation plus poussée de chaque laminoir, de l'autre, vers la généralisation des trains continus sans volant et vers la constitution de laminoirs om-

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, t. VIII, 4^e série, juillet 1928, n° 83, page 728.

nibus à très grande variation de vitesse, du simple au double et plus.

Le champ est donc ouvert aux moteurs asynchrones synchronisés, aux moteurs synchrones et aux moteurs à grande variation de vitesse : pour ces derniers, la lutte se concentrera entre les moteurs à courant continu, de rendement moins bon, mais de marche plus souple et plus sûre, et les moteurs à courant triphasé en cascade avec des machines de récupération.

M. ROTH présente, au nom de M. JUNG, la note suivante sur *l'Emploi des volants* :

M. GRIVET a exposé avec juste raison que l'adjonction de volants sur les trains irréversibles n'est qu'un pis-aller tant au point de vue métallurgique, qui demande une vitesse aussi constante que possible pendant les passes, qu'au point de vue économique, le volant entraînant des pertes supplémentaires et conduisant à un laminage plus lent et partant plus froid. Je voudrais, à l'appui de cette thèse, citer quelques chiffres de la pratique, illustrant d'une manière particulièrement frappante la voie à suivre dans l'étude des équipements des laminoirs. Je me référerai, à cet effet, à une installation réalisée récemment par la Société Alsacienne et très caractéristique à ce sujet :

Il s'agissait d'électrifier deux gros trains trio à deux cages de 650 mm de diamètre destinés à laminier des rails et profils de 5 à 30 kg/m, en partant de lingots de 600 à 1 200 kg, avec 2 à 3 barres simultanément en prise.

La commande de ces trains devait se faire par moteurs asynchrones à courant triphasé attaquant directement l'arbre des trains tournant à vitesse variable entre 75 et 120 t : mn suivant les caractéristiques de la barre engagée. La variation de vitesse de ces moteurs est réalisée à l'aide d'un groupe de réglage indépendant avec moteur à collecteur du type à pôles saillants permettant d'obtenir un réglage hyper et hypo-synchrone.

En raison des pointes de puissance très élevées pouvant atteindre, suivant l'état d'échauffement du lingot, jusqu'à 8 000 à 10 000 ch, il était indispensable de prévoir un volant, le réseau d'alimentation, bien que très puissant, ne pouvant toutefois pas admettre des pointes répétées de cette importance. Quant au choix des caractéristiques du volant, plusieurs solutions pouvaient être envisagées suivant qu'on désirait obtenir un tamponnage plus ou moins parfait et qu'on admettait un glissement plus ou moins élevé. C'est ainsi que la valeur des à-coups de puissance sur le moteur peut être évaluée :

à 2 000 ch environ avec un volant de 400 tonnes et un glissement de 25 pour 100						
à 3 500 ch	»	»	150	»	»	20
à 5 000 ch	»	»	150	»	»	5
à 5 500 ch	»	»	50	»	»	20
à 7 000 ch	»	»	50	»	»	5

La première solution, qui correspond au tamponnage parfait de toutes les pointes provenant du laminage, était à éliminer d'emblée en raison des dimensions prohibitives du volant. On voit, d'autre part, que la puissance maximum demandée au moteur et au réseau augmente rapidement avec la réduction du poids du volant. Une solution moyenne acceptable aurait été celle comportant un volant de 150 tonnes, permettant de réduire les pointes de puissance à 3 500 à 5 000 ch, suivant l'importance du glissement admis. Toutefois, bien que d'un prix de première installation plus réduit que les solutions comportant des moteurs plus importants, cette solution aurait été moins économique pour les raisons exposées par M. GRIVET et que nous avons rappelées ci-dessus. Aussi s'est-on inspiré pour le choix de la solution définitive, du principe énoncé par M. GRIVET : prévoir le volant et glissement minimum compatibles avec la capacité du réseau ou de la Centrale d'alimentation. On a adopté, dans ces conditions, des moteurs d'une puissance moyenne de 3 000 ch avec capacité de surcharge jusqu'à 7 500 ch munis de volants de 50 T, capables d'assurer le travail avec un glissement maximum de 5 pour cent en marche normale, la pointe maximum sur le réseau pouvant être évaluée à 7 000 ch environ. Les moteurs en question étant alimentés par un réseau sur lequel débitent plusieurs centrales, il a en outre été possible, de la sorte, de se réserver la possibilité de laminier sans interruption, même si l'une ou l'autre de ces centrales faisaient défaut. Il suffit, en effet, dans ce cas exceptionnel, d'admettre un glissement supérieur à 5 pour cent et pouvant aller jusqu'à 20 pour cent. Le tamponnage plus efficace qu'on obtient dans ces conditions permettra le laminage jusqu'aux plus gros échantillons, la production se trouvant toutefois un peu diminuée et l'énergie absorbée augmentée par suite du laminage plus lent. Pour permettre de régler l'importance du glissement, le moteur à collecteur du groupe de réglage est muni d'un transformateur de compoundage à prises variables reliées à un appareil à touches correspondant à des glissements de 5, 10, 15 et 20 pour cent. De même, le rhéostat de démarrage, avec régulateur automatique de glissement pouvant servir de secours au groupe de réglage, est muni d'un appareil à touches permettant la mise en action

de ce rhéostat pour des puissances comprises entre 60 et 150 pour cent de la puissance normale.

Il est à noter, que la récupération de l'énergie du glissement d'une part et la compensation de phase d'autre part (qu'on obtient grâce au groupe de réglage) permettent, pour une opération de laminage donnée, de réduire très sensiblement la puissance apparente maximum prise à la centrale. Le gain réalisé par rapport à la marche sur rhéostat est, pour notre exemple, de 15 à 25 pour cent, suivant qu'on marche avec glissement de 5 ou de 20 pour cent.

En outre, bien qu'il n'ait pas été possible dans l'exemple cité ci-dessus de supprimer entièrement le volant, la faible importance de celui-ci par rapport à la puissance du moteur permet néanmoins de réaliser une souplesse de marche très remarquable, les variations de vitesse pouvant s'effectuer très rapidement. Il sera dans ces conditions possible d'envisager, malgré la présence du volant, la marche à vitesse variable au cours d'une même opération de laminage, c'est-à-dire le laminage à vitesse réduite aux premières passes, de manière à faciliter l'engagement du lingot, et un laminage plus rapide pendant les dernières passes permettant de terminer assez chaud.

M. BELFILS présente, au nom de M. JUNG, la note suivante sur la *comparaison entre la commande de laminoirs par moteur à courant continu et à courant triphasé*.

La question du choix du courant continu ou triphasé pour l'alimentation des moteurs actionnant des laminoirs irréversibles reste toujours très controversée.

L'exposé de M. GRIVET, qui établit clairement les conditions requises par une installation de laminoirs, permet de dégager nettement les points essentiels permettant de fixer le choix dans la plupart des cas. Aucune hésitation lorsque le réseau ou la centrale d'alimentation disposent d'une puissance suffisante en courant continu, le moteur à courant continu se prêtant parfaitement, sans contestations, à toutes les exigences d'un service de laminage. Dans le cas le plus fréquent de réseaux ou centrales à courant triphasé, il y a lieu d'examiner s'il est plus rationnel de prévoir des moteurs à courant triphasé alimentés directement par le réseau ou s'il y a lieu d'envisager l'emploi de moteurs à courant continu après transformation du courant triphasé. Nous désirerions contribuer à l'étude de cette question, en communiquant les conclusions auxquelles nous sommes arrivés, grâce à une longue expérience dans l'établissement des commandes électriques de laminoirs.

Notons tout d'abord que la question du choix du courant ne se pose que pour les moteurs actionnant des trains à vitesse variable, la commande par moteur à courant alternatif des trains à une seule vitesse (trains à tôles fines et moyennes, certains dégrossisseurs) ne présentant aucune difficulté inhérente à la nature du courant.

Pour la commande des trains à vitesse variable, par contre, on peut, suivant les conditions particulières de l'installation, être amené à envisager l'une ou l'autre des solutions suivantes :

— Moteurs à courant continu alimentés par groupes convertisseurs sans volant.

— Moteurs à courant continu alimentés par groupes convertisseurs à volant.

— Moteurs à courant continu alimentés par groupes transformateurs-commutatrices ou redresseurs.

— Moteurs à courant triphasé avec dispositif de réglage de vitesse.

La première solution doit être envisagée lorsqu'on désire réaliser un réglage de vitesse très étendu, dans le rapport de 1 à 3 au moins, et que la centrale est capable d'absorber les à-coups de puissance provenant du laminage. Le réglage de vitesse se fera d'après le système Léonard qui permet de laminier à la façon des trains réversibles : engagement de la barre à faible vitesse et augmentation de la vitesse pendant la passe.

Lorsque la centrale ne peut pas supporter les pointes de puissance dues au laminage, on place un volant sur le convertisseur ainsi constitué. Le convertisseur à volant peut cependant être utilisé avec succès même au cas où le réglage de vitesse ne dépasse pas les limites courantes de 1 à 2 jusqu'à 1 à 3, réalisables par simple réglage dans le champ du moteur de laminoir sans qu'on ait besoin d'avoir recours au couplage Léonard. Il permet, en effet, de supprimer les volants sur les trains de laminoirs et de conférer de ce fait aux trains une souplesse de marche remarquable permettant d'augmenter la production et de laminier plus vite et plus chaud, de sorte que la perte d'énergie due à la transformation du courant est plus que compensée par le gain sur le travail de laminage. On peut d'ailleurs, pour améliorer le rendement de l'installation, remplacer le rhéostat de glissement classique du moteur de convertisseur par un moteur à collecteur de récupération. A noter, en outre, que le convertisseur à volant permet d'obtenir un tamponnage beaucoup plus efficace que celui qu'on réalise en plaçant les volants sur les trains. En effet, d'une part les à-coups provenant du laminage se transmettent au ré-

seau avec moins de brutalité, grâce à l'amortissement dû aux machines intermédiaires et, d'autre part, il est possible de placer sur le convertisseur, à moins de frais, un volant plus puissant que sur l'arbre du laminoir. En outre, si le convertisseur alimente plusieurs moteurs de laminoirs, on réalise une certaine compensation des pointes provenant des trains.

A part les cas ci-dessus où la solution à courant continu est nettement la plus avantageuse, il existe un grand nombre de trains avec ou sans volants pouvant se contenter d'un réglage de vitesse dans le rapport de 1 à 2 et ne nécessitant qu'une maniabilité restreinte au cours d'une opération de laminage. Pour ces trains, on a installé avec succès, aussi bien des moteurs à courant continu avec commutatrices ou redresseurs que des moteurs à courant triphasé avec dispositifs de réglage de vitesse (moteurs à collecteurs montés en cascade, réglage d'après le système Kraemer, etc...). Ces deux solutions étant plus difficilement à départager, nous voudrions en résumer les caractéristiques qui, à notre avis, peuvent influencer sur la décision à prendre.

a) *Sécurité de marche.* — En continu, la marche du laminoir dépend du bon fonctionnement du moteur, de la commutatrice (ou du redresseur) et du transformateur ; en triphasé, elle ne dépend que du moteur et de son groupe de réglage. Même si le groupe de réglage est avarié, il est possible, dans la plupart des cas, de fournir un service de secours acceptable avec le moteur seul, à condition de prévoir un réglage de part et d'autre du synchronisme du moteur principal (cascade avec moteur à collecteur à pôles saillants). Cette plus grande sécurité de marche du système triphasé est cependant moins marquante, si l'on tient compte du fait que le moteur triphasé à collecteur est une machine notablement plus délicate que les machines du système continu, et qu'il nécessite, en cas d'avarie, l'intervention d'un électricien très spécialisé, alors que tout électricien ayant les connaissances courantes des machines saura remédier à la plupart des avaries susceptibles de se présenter sur les machines équipées pour courant continu. L'infériorité du système continu par rapport au système triphasé disparaît même entièrement, dès qu'il s'agit d'une installation comportant plusieurs moteurs et plusieurs commutatrices, l'avarie à l'une des commutatrices ne présentant plus le même aspect de gravité dans ce cas.

b) *Souplesse de marche.* — Les limites de réglage qu'il est prudent de ne pas dépasser avec un équipement à courant triphasé comportant un moteur à collecteur en cascade, sont dans le rapport de 1 à 2 en-

viron pour les puissances et vitesses courantes. Dans les mêmes conditions, un équipement à courant continu permet de pousser le réglage jusqu'au rapport de 1 à 3 en prenant les dispositions nécessaires (machines compensées). Pour ne pas compliquer l'installation outre mesure, il est indiqué de se contenter, en triphasé, d'une précision de réglage de 7 à 8 pour cent environ, alors qu'en continu le réglage peut être rendu aussi progressif qu'on le désire sans aucune complication : rhéostat de champ. Il est, en particulier, possible, avec ce système, d'ajuster très exactement la vitesse de plusieurs moteurs entre eux, ce qui est particulièrement précieux pour les moteurs actionnant les différentes cages d'un même train continu sur lequel la barre se trouve engagée dans toutes les cages à la fois.

c) *Rendement.* — Le rendement global d'un groupe transformateur-commutatrice (ou redresseur), avec moteur à courant continu, est du même ordre que le rendement moyen d'un moteur triphasé avec moteur à collecteur en cascade. Voici deux exemples :

Vitesse en t : mn	Rendement global transform.-commutatrice et moteur à courant continu		Rendement moteur asynchrone avec groupe de réglage de vitesse	
	1/1 charge	1/2 charge	1/1 charge	1/2 charge
Moteur 1 500 ch 90. . .	86	83	84	78
» 130. . .	86	83	89	85
» 180. . .	86	83	87	83
» 250 . . .	87	84	86	80
» 300. . .	87	84	90	85
» 350. . .	86,5	83,5	88	84

On voit qu'à la vitesse moyenne (vitesse synchrone), le rendement en triphasé est supérieur à celui en courant continu, à la vitesse maximum, les rendements sont à peu près équivalents, à la vitesse minimum, le rendement du système continu est supérieur à celui du système triphasé. Au cas où la tension du réseau est trop élevée pour permettre l'alimentation directe du moteur triphasé, les rendements du système triphasé sont à réduire en tenant compte des pertes dans le transformateur.

d) *Facteur de puissance.* — Les deux systèmes sont sensiblement équivalents à ce point de vue, l'un et l'autre fonctionnant avec un facteur de puissance voisin de l'unité à toutes les charges.

e) *Prix.* — L'écart de prix entre des moteurs de laminoir à courant

continu et à courant triphasé de caractéristiques courantes n'est pas très marqué : pour les faibles couples, le moteur asynchrone est un peu moins cher que le moteur à courant continu; pour les couples élevés, c'est l'inverse. D'autre part, le prix des groupes de réglage de vitesse triphasé est sensiblement compensé par celui des groupes transformateurs-commutatrices correspondants; donc au total, sensiblement le même prix pour les deux solutions, sauf au cas où, par suite de la tension trop élevée du réseau, il est nécessaire de prévoir un transformateur d'alimentation pour le moteur asynchrone.

M. BELFILS présente, au nom de M. JUNG, les considérations suivantes sur le facteur de puissance.

L'amélioration du facteur de puissance d'une installation de laminoirs, comportant des moteurs à courant triphasé peut être réalisée en dehors des moteurs de laminoirs, à l'aide, par exemple, de compensateurs synchrones, méthode préconisée par M. GRIVET. Nous pensons, toutefois, qu'il ne faut pas repousser d'emblée les solutions permettant d'améliorer le facteur de puissance à l'aide des moteurs de laminoirs eux-mêmes, d'autant plus qu'elles sont le plus souvent plus économiques que le compensateur synchrone. Nous avons pensé qu'il serait utile de donner une classification des méthodes employées par la pratique actuelle. Avant d'entrer dans le détail, il y a toutefois lieu de noter tout d'abord que le problème de la compensation n'est pas le même suivant que les moteurs de laminoirs sont alimentés par un réseau de distribution public ou par une Centrale appartenant à l'usine. Dans le premier cas, si le réseau prévoit une tarification de l'énergie réactive, il est intéressant d'avoir un bon facteur de puissance moyen, la tarification de l'énergie réactive étant généralement basée sur la totalité de l'énergie réactive absorbée, enregistrée par un compteur de puissance réactive. Dans le second cas, par contre, il importe surtout d'avoir un facteur de puissance voisin de l'unité au moment de la charge maximum, de façon à réduire l'appel maximum de courant à la Centrale et, par suite, les disponibilités de puissance à y prévoir. L'amélioration du facteur de puissance à vide, par contre, ne présente que peu d'intérêt dans ce cas. En effet, le courant à vide d'un moteur asynchrone de laminoir étant de l'ordre de $1/4$ à $1/3$ de son courant de pleine charge, les pertes dans les canalisations de ce moteur, pendant les périodes de marche à vide, n'atteignent que $1/16$ à $1/9$ de leur valeur de pleine charge. Même en se basant sur le chiffre relativement

élevé de 10 pour cent des pertes dans les canalisations à pleine charge, celles-ci sont donc inférieures à 1 pour cent pendant la marche à vide. Dans la plupart des cas, les pertes provenant de la compensation de phase à vide sont supérieures à ce chiffre.

Les méthodes pouvant être envisagées dans l'un et l'autre des deux cas considérés ci-dessus, diffèrent suivant que le train est à vitesse unique ou à plusieurs vitesses et suivant qu'il comporte un volant ou non.

a) Trains à vitesse unique sans volant.

Dans le cas de l'alimentation par un réseau de distribution étranger, l'emploi de moteurs synchrones, ou mieux encore asynchrones synchronisés, peut être envisagé avantageusement. Ces moteurs doivent être établis avec une surexcitation importante, à cause du couple de décrochage élevé — 200 pour 100 et davantage — indispensable pour un service de laminage, de sorte qu'il débite, aux faibles charges, un courant capacitif très important. Ce courant qui, pour des moteurs ayant un couple de décrochage de 200 pour cent, atteint à vide 80 à 100 pour cent du courant watté de pleine charge, peut être utilisé pour la compensation de phase éventuelle du reste de l'installation, comportant souvent de petits moteurs asynchrones pour les services auxiliaires. Il y a toutefois lieu de noter que ces courants capacitifs très élevés entraînent des pertes supplémentaires dans le moteur et nécessitent l'emploi d'un moteur de dimensions plus élevées. Dans ces conditions, dans tous les cas où une compensation aussi importante n'est pas nécessaire, soit que les services sont peu importants par rapport à la puissance des moteurs de laminaires, soit qu'on dépasse la valeur du facteur de puissance pour laquelle le système de tarification présente encore un avantage réel, surtout en tenant compte des pertes supplémentaires dans le moteur, on a intérêt à limiter la valeur des courants capacitifs aux faibles charges. On peut, à cet effet, prévoir un régulateur automatique de facteur de puissance agissant sur l'excitation du moteur synchrone ou asynchrone synchronisé, de façon à maintenir le facteur de puissance à une valeur constante, par exemple à l'unité. Le régulateur et le moteur devront toutefois être étudiés spécialement pour éviter tout risque de décrochage du moteur, pendant les passes du laminage pouvant résulter de l'inertie du régulateur et, par suite, du retard dû à la self inductance des circuits d'excitation.

Une solution, plus économique dans ce cas, consiste à prévoir un moteur asynchrone avec compensateur de phase. On pourra adopter,

soit un compensateur du type série préconisé par M. LEBLANC, soit un compensateur du type convertisseur de fréquence à excitation par le réseau. Le premier, d'une construction particulièrement simple et robuste, peut être installé indépendamment du moteur principal en l'entraînant à l'aide d'un petit moteur asynchrone. Il permet de compenser très efficacement jusqu'à $1/4$ de charge environ. Son emploi est, par suite, tout à fait indiqué lorsque le moteur de laminoir est alimenté par une Centrale appartenant à l'usine, de façon à décharger celle-ci au moment des pointes. Il pourra même convenir, en cas d'alimentation par un réseau étranger, lorsque la puissance nécessaire pour entraîner le laminoir à vide atteint environ $1/4$ de la puissance normale du moteur.

Le compensateur du type convertisseur de fréquence, accouplé directement ou par engrenage au moteur, agit sensiblement comme un condensateur statique ou synchrone fournissant une puissance réactive de compensation constante à toutes les charges du moteur.

La puissance réactive, à vide, d'un moteur asynchrone de laminoir, étant environ 75 pour cent de celle en charge, on voit qu'avec cet appareil la compensation de phase est peu variable avec la charge : en prévoyant le compensateur pour $\cos \varphi = 1$ à pleine charge, le moteur débite à vide une puissance réactive de compensation de 10 à 15 pour cent de la puissance wattée normale. L'adjonction du compensateur de phase n'influe que très peu sur le rendement.

Il entraîne une augmentation du courant rotorique du moteur principal, compensée par une diminution du courant statorique, de sorte que les pertes supplémentaires résultant de l'adjonction du compensateur se réduisent sensiblement aux pertes du condensateur lui-même qui atteignent, dans la plupart des cas, à peine 1 pour cent. L'importance de la compensation est pratiquement limitée par l'augmentation rotorique du moteur principal qui en résulte ; de sorte qu'on ne dépasse guère $\cos \varphi = 0,95$ à pleine charge. L'adjonction d'un compensateur de phase a, en outre, pour effet d'augmenter le couple de décrochage du moteur, résultat particulièrement intéressant pour un moteur de laminoir.

b) Trains à vitesse unique avec volant.

Parmi les moteurs à courant alternatif, seul le moteur asynchrone est encore employé dans ce cas ; le glissement pour la mise en action du volant, étant réalisé, soit par résistance, soit à l'aide d'un moteur à collecteur de récupération monté en cascade avec le moteur. Les

moteurs à collecteur employés le plus couramment sont le moteur série ordinaire et, pour les puissances et vitesses élevées, le moteur à pôles saillants, accouplé avec le moteur principal ou constituant un groupe de récupération indépendant, en l'accouplant avec un moteur asynchrone auxiliaire. L'un ou l'autre de ces deux types de moteurs à collecteur peut être réglé pour ramener à une valeur voisine de l'unité le facteur de puissance du moteur de laminoir à toutes les charges environ. Une compensation plus accentuée, permettant de compenser, avec le moteur de laminoir également, le reste de l'installation, ne serait cependant plus économique parce qu'elle entraînerait une augmentation, aussi bien du moteur de laminoir que du moteur à collecteur, aucunement en rapport avec le gain réalisé sur le facteur de puissance.

Lorsque le moteur de laminoir est muni d'un rhéostat de glissement, on peut envisager l'adjonction d'un avanceur de phase monté en série avec le rhéostat. Le moteur tournant toutefois à vitesse variable, la tension de compensation fournie par l'avanceur de phase, devrait, pour assurer la compensation à toutes les vitesses, augmenter avec le glissement du moteur. On serait toutefois conduit, dans ces conditions, à un compensateur de dimensions et de prix comparables à ceux d'un moteur à collecteur de récupération dont il a été question ci-dessus, et qui constitue, dans ce cas, une solution préférable à cause du gain d'énergie due à la récupération de l'énergie de glissement. On se contente donc, le plus souvent, de dimensionner le compensateur de phase pour assurer l'amélioration du facteur de puissance uniquement à la grande vitesse. Avec un rhéostat automatique de glissement, n'entrant en jeu qu'à partir du moment où la puissance normale du moteur est dépassée, il est ainsi possible d'assurer une compensation active pendant une grande partie du temps, à condition, bien entendu, d'adopter un compensateur du type à excitation indépendante assurant la compensation à toutes les charges. L'adoption de cette solution est donc surtout intéressante lorsque le moteur est branché sur un réseau prévoyant une tarification de l'énergie réactive. Elle ne permet pas, par contre, de diminuer d'une façon appréciable l'appel maximum de courant à la Centrale qui correspond à la marche sur résistance pendant laquelle le compensateur agit peu. Seul, le moteur à collecteur de récupération est susceptible de donner satisfaction à ce sujet.

c) Trains à vitesse variable avec ou sans volant.

Tous les systèmes de réglage de la vitesse des moteurs asynchrones de

laminoir, et, en particulier, les montages en cascade avec les moteurs à collecteur, permettent d'obtenir un facteur de puissance voisin de l'unité à toutes les charges. Une compensation sensiblement plus efficace ne serait cependant pas plus économique à cause de l'augmentation rapide des machines qu'elle entraînerait.

M. BELFILS, résume son rapport sur *l'étude des différents systèmes d'excitation et leur influence sur la stabilité de marche des réseaux* ⁽¹⁾.

Il conclut que la stabilité de marche en parallèle des différents alternateurs d'un réseau n'exige pas la constance du flux, laquelle pourrait donner, au contraire, des difficultés en cas de court-circuit ; que, sauf dans des cas très spéciaux, la stabilité de l'ensemble d'un réseau se trouve toujours pratiquement assurée ; que pour l'élimination rapide des court-circuits, qui s'impose à l'exploitant, il est le plus souvent préférable que le flux baisse, dans une certaine mesure, au cours de leur durée ; que, dès leur disparition, il est toujours utile et souvent indispensable que le flux dans les machines soit rétabli le plus rapidement possible.

M. FALLOU. — J'aurai peu de choses à ajouter au rapport de M. BELFILS, remarquable à tous égards pour la clarté de son exposé et pour la justesse de ses conclusions.

1° Je voudrais seulement indiquer tout d'abord une expression assez simple et suggestive que l'on peut donner au couple synchronisant d'un système, lequel définit parfaitement son degré de stabilité.

Considérons donc un système (machine, transformateur, ligne, ou une combinaison de ces appareils), débitant, à l'extérieur, un courant I sous une tension U , avec un angle de phase φ .

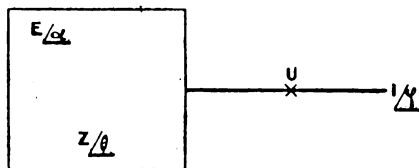


Fig. 4.

Soient, E la force électromotrice du système, Z son impédance interne. — α l'angle que fait la force électromotrice E avec la tension U , et θ l'angle de phase de l'impédance Z . (fig. 4).

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, t. VIII, n° 86, octobre 1928, page 998.

On démontre ⁽¹⁾ que la puissance débitée par le système a pour expression :

$$P = \frac{UE}{Z} \left[\cos (\theta - \alpha) - \frac{U}{E} \cos \theta \right].$$

Le couple synchronisant est donc (K étant un facteur de proportionnalité)

$$C_s = K \frac{UE}{Z} \sin (\theta - \alpha).$$

En remplaçant α en fonction de φ on trouve :

$$C_s = K \left[\frac{U^2}{Z} \sin \theta + UI \sin \varphi \right]$$

Le premier terme de la parenthèse est la puissance réactive qu'absorberait le système si on l'alimentait sous la tension U. Le second terme est la puissance réactive fournie à l'extérieur par le système.

On peut donc dire que le couple synchronisant est proportionnel à la puissance réactive fournie par le système, majoré de la puissance réactive qu'absorberait le système alimenté sous la même tension.

Dans le cas des alternateurs non saturés à rotor lisse, cette expression reçoit une interprétation géométrique très simple. On construit le triangle classique des chutes de tension dans la machine, et on multiplie chaque côté de ce triangle par $\frac{U}{Z}$. On obtient ainsi un triangle de puissance OAB. (fig. 5).

Les projections $\overline{AC}$ et $\overline{CB}$ représentent respectivement la puissance active et la puissance réactive fournies par l'alternateur, et $\overline{OA}$ la puissance réactive qu'absorberait la réactance équivalente à l'alternateur si on l'alimentait sous la tension U. Le couple synchronisant est alors proportionnel au segment $\overline{DB}$.

Cette introduction de la puissance réactive dans la notion du couple synchronisant, montre qu'il est possible de se rendre compte à tous moments de l'état de stabilité d'une machine de caractéristiques connues, si l'on possède sur le tableau de manœuvre un wattmètre de puissance réactive. Ceci (ainsi d'ailleurs que beaucoup d'autres raisons qu'il serait oiseux de rappeler ici), milite en faveur du remplacement systématique des phasemètres généralement utilisés sur les tableaux par des wattmètres de puissance réactive.

(1) Ch. LAVANCHY. Capacité et stabilité des transmissions d'énergie électrique. Conférence internationale des grands réseaux, 1927.

2° Ceci posé, je crois utile de revenir sur une affirmation de M. BEL-FILS; d'après laquelle la marche en parallèle des alternateurs resterait parfaite pour des fonctionnements dans lesquels l'angle α (de la force électromotrice sur la tension aux bornes) devient très grand, 70 et même 80 degrés.

Considérons un alternateur fonctionnant avec un angle initial α_0 et

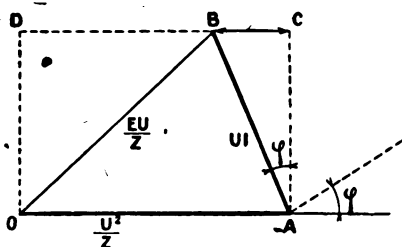


Fig. 5.

débitant une puissance P . Cherchons quel est le supplément de puissance ΔP que peut fournir cet alternateur sans décrocher. Pour un alternateur de résistances négligeables, $\theta = \frac{\pi}{2}$, l'expression de la puissance débitée peut s'écrire :

$$P = \frac{UE}{Z} \sin \alpha_0$$

le maximum maximum de la puissance que peut fournir l'alternateur étant :

$$P_m = \frac{UE}{Z}$$

le supplément de la puissance ΔP que peut, théoriquement, fournir l'alternateur sans décrocher est :

$$\Delta P = \frac{UE}{Z} (1 - \sin \alpha_0),$$

ou, en valeur relative :

$$\frac{\Delta P}{P} = \left(\frac{1}{\sin \alpha_0} - 1 \right).$$

En passant aux valeurs numériques, on trouve :

pour $\alpha_0 = 30^\circ$	$\frac{\Delta P}{P} = 100$	pour cent,
— 60°	— 15,5	—
— 70°	— 6,5	—
— 80°	— 1,5	—
— 90°	— 0	—

On voit donc que pour une marche à 80° , il suffit d'un supplément d'appel de puissance de 1,5 pour cent pour annuler le couple synchronisant. Il semble donc qu'il ne faille guère dépasser un angle de 70° pour obtenir un fonctionnement synchrone suffisamment sûr, et qu'il soit même prudent de s'en tenir généralement à un angle de 60° si l'on veut garder une sécurité assez grande.

3° En ce qui concerne les régimes troublés, je suis tout à fait d'accord avec M. BELFILS lorsqu'il indique que le premier remède à l'instabilité est l'élimination des court-circuits par des procédés aussi rapides que possible. J'insiste moi-même sur ce point dans mon rapport sur la protection sélective des lignes, présenté à la 4^e Section, et je ne m'étendrai pas davantage ici sur ce sujet. J'ajouterai seulement que le problème de la stabilité en régime troublé est aussi lié intimement à celui de la mise à la terre du point neutre, car la plupart des court-circuits ont lieu, entre phases et terre, tout au moins dans les réseaux modernes (lignes aériennes à très haute tension, câbles unipolaires ou tripolaires métallisés, tableaux à phases séparées, etc...).

M. DARRIEUS. — Si nous nous reportons à la figure du rapport de M. BELFILS, (fig. 6), concernant la marche en parallèle de deux machines synchrones, il faut entendre par les forces électromotrices internes E'_1 , E'_2 les tensions que laissent invariables toute variation de régime, aussi rapide que le permettent les feuilletages du fer et du cuivre

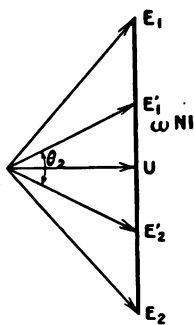


Fig. 6.

du stator ; ce sont, par exemple, les tensions observables aux bornes immédiatement après une coupure brusque de la charge.

Elles correspondent à l'invariabilité du flux résultant embrassé tant par l'amortisseur que par l'inducteur, grâce à la naissance brusque dans ces deux circuits des courants transitoires qu'induit, instantanément, toute variation de la réaction d'induit.

La chute inductive correspondante ωNI , différence entre la f. é. m. interne et la tension aux bornes, dépend de l'inductance N de fuite totale du stator, qui comprend, outre l'inductance de fuites du stator seul, qui n'intéresse que le constructeur, l'inductance de fuites de l'amortisseur, inséparable de la précédente dans tout ce qui concerne le fonctionnement.

Il serait donc paradoxal que les oscillations ne dépendent que de l'inductance totale, ce qui suppose la constance de l'excitation et non celle du flux ; car la période d'oscillation est certainement relativement courte par rapport à la constante de temps de l'inducteur.

M. BELFILS. — Les périodes d'oscillation sont de l'ordre d'une seconde ; elles correspondent à un couple synchronisant de l'ordre de 0,8, de 1,2, de 1,5 fois du couple normal.

M. DARRIEUS. — C'est assez paradoxal, car M. BOUCHEROT, dans son étude de 1913 sur les oscillations des alternateurs (*Lumière Electrique*, t. XXIV, p. 166, 199, 230), avait attiré l'attention sur ce que l'amortisseur non seulement produit un amortissement, mais encore augmente la rigidité du lien synchronisant, en tendant à maintenir le flux et restreignant l'angle d'oscillation des flux respectifs des deux machines.

M. BELFILS. — En ce qui concerne la réactance λ_s , définissant la stabilité dynamique (constance du flux total), elle doit être considérée comme le quotient de la force électromotrice interne correspondant au flux réel total existant dans la machine, par la valeur maximum instantanée du courant de court-circuit symétrique.

Les rapports présentés par MM. DARRIEUS, FALLOU et SCHMUTZ, devant notre Société à la Semaine de discussions de 1925, et les discussions qui les ont suivis, ont mis en évidence que cette réactance comprend la réactance de fuite du stator et la réactance de fuite combinée de l'inducteur et des amortisseurs. Pratiquement, si la machine est bien amortie, elle est peu supérieure à la réactance de fuite du stator ; au contraire, dans une machine théorique dont le circuit inducteur feuilleté ne comporterait pas d'amortisseur, elle sera égale à la réactance des fuites totales du stator et de l'inducteur, et dans ce cas, l'explication de l'intervention des fuites de l'inducteur est particulièrement simple ; en effet, dans l'hypothèse de la constance du flux total, à mesure que le courant dans le stator augmente, il doit se produire une augmentation corrélative du courant inducteur et, par suite, une

augmentation du flux de fuites de cet enroulement qui vient en déduction du flux total.

Dans l'étude d'ensemble que nous avons en vue, il nous paraît dans tous les cas possible d'admettre que tous les rapports du couple maximum pouvant être développé à flux constant au couple maximum, pouvant être développé à courant d'excitation constant, est égal au rapport du courant de court-circuit instantané au courant de court-circuit permanent.

Nous n'avons envisagé dans notre étude que le cas des rotors lisses; le problème est un peu plus compliqué dans les machines à pôles saillants où, en particulier, à cause de la variation de réluctance le long de l'entrefer, le couple se compose de deux termes : l'un proportionnel à $\sin 0$, l'autre proportionnel à $\sin 20$; mais, les résultats sont peu différents de ceux que nous indiquons pour les rotors lisses. Il est à noter, toutefois, que la décomposition du couple synchronisant en deux termes permet, en particulier, d'évaluer la période propre d'oscillation des alternateurs à pôles saillants avec une grande précision, mais pour une étude d'ensemble du problème de la stabilité, il n'est nullement nécessaire de faire intervenir ces considérations.

M. DARRIEUS. — Les très nombreux mémoires qui ont paru en Amérique dans ces dernières années sur le problème de la stabilité, pourraient faire naître en Europe cette idée qu'il s'agit là d'une question délicate et préoccupante pour l'avenir. Or, si ce problème est, en effet, à considérer pour de très grands réseaux, comme il en existe en Amérique, nous sommes loin, nous, de nous trouver encore dans la même situation et, d'autre part, je ne pense pas que cette considération doive jamais forcer les constructeurs à s'écarter de la direction qu'ils ont naturellement suivie pour les grosses machines, notamment les turbo-alternateurs, pour améliorer à la fois le rendement et l'utilisation des matériaux ; la tendance justifiée à augmenter les ampère-tours par centimètre et la proportion de cuivre, à réduire le rapport de l'entrefer au pas polaire et à augmenter la réaction d'induit, ne devrait pas être entravée par des conditions parasites de mise sous tension des lignes à forte capacité, ou de stabilité, parce que cette question doit plutôt relever d'une adaptation convenable (qui peut nécessiter une étude plus ou moins longue, mais toujours susceptible, en principe d'aboutir) des excitatrices et des régulateurs (accessoires, en somme, des alternateurs) et que l'évolution des machines principales peut être ainsi libérée de ces sujétions.

M. FALLOU. — Je crois cependant qu'il y a des cas où l'on est obligé de réagir contre une réaction d'induit exagérée : c'est celui des réseaux à grande capacité, réduits à marcher la nuit avec un facteur de puissance en avant.

M. DARRIEUS. — Il est vrai que les constructeurs ont peut-être laissé parfois les exploitants pris au dépourvu, mais je crois qu'en général, ces cas particuliers seraient susceptibles de solutions simples n'entraînant pas un remaniement de principe de la construction des grosses machines. Le maintien du flux constant, par exemple ; l'abandon de l'excitatrice shunt, l'emploi de régulateur sont autant de points à étudier, mais qui paraissent susceptibles de donner une solution, sans recours à l'augmentation de l'entrefer.

M. FALLOU. — Il y a un moment, tout de même, où tous ces artifices ne suffisent plus, où l'auto-amorçage de la machine qui marche la nuit contraint à mettre deux machines en parallèle.

M. DARRIEUS. — Même dans ce cas, on peut recourir à des régulateurs pour maintenir une stabilité artificielle.

M. BELFILS. — Je m'en voudrais de laisser l'impression que le choix d'un système d'excitation permettant de se rapprocher de la condition de constance du flux incite le constructeur et l'exploitant à se libérer de toute inquiétude, en ce qui concerne la valeur à adopter pour la réaction d'induit ; il est des cas, en effet, où le choix de l'exploitant ne peut être arbitraire, et il est très compréhensible que, malgré tous les perfectionnements apportés aux systèmes d'excitation, certains cahiers des charges fixent une limitation à la réaction d'induit en imposant la puissance réactive minimum que la machine est capable d'absorber à vide.

C'est le cas d'alternateurs devant alimenter une longue ligne à très haute tension ; dans le cas d'une disjonction de la charge, on conçoit qu'il soit nécessaire d'établir les machines pour que l'auto-amorçage ne puisse se produire ; il faut pour cela, ainsi que M. ROTU l'a exposé à la Conférence des Grands Réseaux de 1925, que les machines branchées sur la ligne soient établies avec un flux et un entrefer suffisamment grands pour que leur réactance synchrone soit inférieure à la réactance capacitive du réseau ou, en d'autres termes, que l'énergie réactive consommée dans l'entrefer de la machine soit, à une tension quelconque, supérieure à l'énergie réactive pouvant être fournie à

cette même tension par la ou les lignes à vide. On évite ainsi les surtensions subsistant, même avec excitation coupée, lors d'un déclenchement à l'arrivée.

Il semble imprudent, d'ailleurs, dans ces problèmes, de faire état de la possibilité d'excitation en sens inverse des machines à pôles saillants, possible, théoriquement, à cause de l'existence des couples en $\sin \theta$ et $\sin 2\theta$, car la présence d'une légère charge entraînerait inmanquablement un glissement d'un pôle, accompagné d'une surtension très violente, limitée en partie par la saturation des transformateurs.

Comme conclusion : si, dans la plupart des cas, l'emploi des systèmes d'excitation appropriés permet d'envisager la marche stable d'alternateurs à grande réactance synchrone, il n'en est pas moins vrai que, dans certains cas particuliers, l'exploitant est tout à fait fondé à imposer une valeur assez basse à cette réactance.

M. DARRIEUS. — L'interconnexion des réseaux constitue aussi un remède qui pourrait, comme d'autres peut-être, s'appliquer au cas envisagé par M. BELFILS.

M. LEDoux résuma et compléta comme suit son rapport sur *la propagation des ondes dans les enroulements* (1).

J'ai rappelé, dans mon rapport, qu'il est possible d'obtenir une excellente protection contre les ondes mobiles au moyen de bobines de self-induction (ou appareils dérivés), employées seules ou conjointement à des condensateurs, suivant les cas.

Je crois utile de rappeler que le discrédit jeté par certains exploitants sur les bobines de self-induction est imputable à la mauvaise utilisation de ces appareils ou à l'emploi de bobines manifestement insuffisantes. Une bobine un peu importante est pratiquement assimilable à un tronçon de conducteur de forte impédance d'onde. On n'en tirera tout le parti possible que si l'on utilise judicieusement les phénomènes de réfraction aux points de transition.

C'est ainsi qu'une inductance placée immédiatement avant un transformateur, constitue en quelque sorte une marche d'escalier entre la ligne et l'enroulement et peut faciliter l'entrée de l'onde. Au contraire, la même inductance placée sur la ligne à une certaine distance du transformateur, assurera une protection très réelle ainsi

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, t. VIII, octobre 1928, n° 86, p. 1926.

qu'on s'en rendra compte en étudiant les phénomènes de réfraction aux nœuds successifs. Ceci n'est vrai, bien entendu, que pour des longueurs de conducteurs du même ordre de grandeur que les longueurs de fronts d'ondes dont on désire se protéger. De même une inductance placée au voisinage immédiat d'un interrupteur, réduit dans une large mesure l'amplitude de l'onde de fermeture. J'ai exposé ces questions en détail dans mon article général sur les ondes mobiles ⁽¹⁾ auquel on voudra bien se reporter, car je ne puis donner ici les développements qu'elles comportent.

Dans de très nombreux cas, il est possible d'obtenir une protection suffisante par le seul emploi, dans les conditions que j'ai indiquées, de fortes bobines de self-induction, ou mieux de bobines shuntées ou d'amortisseurs de surtensions dont le pouvoir d'étalement est beaucoup plus grand, en raison du décalage qui se produit entre les différentes ondes partielles transmises dans les circuits dérivés.

J'ai mentionné, dans mon rapport, que les condensateurs ont toujours une efficacité inférieure à celle donnée par la théorie, la différence étant quelquefois très considérable. J'insiste sur ce point, parce qu'il est généralement inconnu des exploitants. Cette diminution d'efficacité est due à la longueur, jamais négligeable, de la connexion de terre. En effet, lorsqu'une onde se propageant sur une ligne arrive au point de dérivation du condensateur, elle se divise en deux ondes partielles ; l'une continuant son chemin sur la ligne et l'autre parcourant la dérivation contenant le condensateur. Cette seconde onde partielle doit aller jusqu'au sol, s'y réfléchir et revenir au point de dérivation avant de commencer à agir sur l'onde incidente. Il est évident que, dans ces conditions, plus la dérivation est longue, plus l'efficacité du condensateur est diminuée. Comme il est impossible de réduire au delà d'une certaine limite la longueur de la dérivation, j'ai eu l'idée d'user d'un artifice pour rendre au condensateur toute son efficacité théorique et même au delà. C'est ainsi que j'ai établi, en collaboration avec M. P. BUXET, le condensateur dénommé étaleur-amortisseur d'ondes.

Cet appareil, déjà décrit dans mon article de la R. G. E., a ses armatures constituées par des bobines de self-induction hélicoïdales à pas croissant aux extrémités, placées concentriquement et noyées dans une masse isolante. L'une des bobines armatures est traversée par le courant normal de service ; elle est, en quelque sorte, embre-

(1) R. G. E. *Loc. cit.*

chée sur la ligne avant l'installation à protéger. L'autre est reliée à la terre par l'intermédiaire d'une résistance d'amortissement. L'appareil est établi de telle manière que la durée de parcours par une onde de la bobine en série sur la ligne soit plus longue que la durée de parcours aller et retour de la connexion de terre. Dans ces conditions, une onde qui a pénétré dans l'appareil n'en est pas encore ressortie avant que le condensateur ait commencé à agir, c'est-à-dire avant que l'onde dérivée au sol ne soit revenue dans l'appareil. De plus, la bobine série embrochée sur la ligne a, par elle-même, un pouvoir d'étalement considérable. Cet appareil est extrêmement robuste en raison de sa construction, qui permet de supprimer les inconvénients des bords d'armature, grâce à l'emploi de bobines à pas croissant aux extrémités, imaginées par M. P. BUNET.

M. LEDOUX, présenta ensuite comme suit quelques remarques, émanant de M. FLEGLER et la réponse qu'il a faite.

La publication de mon article d'ensemble sur les ondes mobiles ⁽¹⁾, a amené un certain nombre d'auteurs à formuler quelques remarques. Celles de MM. FALLOU et MAUDUIT ont déjà paru dans la *Revue Générale de l'Electricité* ⁽²⁾, en même temps que ma réponse. J'ai reçu depuis de M. E. FLEGLER, de l'Institut Electrotechnique d'Aix-la-Chapelle, une lettre me faisant part de quelques réflexions. J'en reproduis le texte, estimant qu'il n'est jamais inutile de confronter les idées de chacun sur un sujet controversé.

Remarques de M. FLEGLER :

1° M. LEDOUX, présente dans la seconde partie (paragraphe III), de son étude quelques fronts d'ondes mobiles obtenus au cours de ses essais (p. 869, fig. 4 à 7). Malheureusement, on ne peut pas constater sur ces figures à quelle tension d'essai elles ont été établies. D'après le texte correspondant, il s'agirait de tensions d'interruption entre 10 et 30 kV. M. LEDOUX croit que les raideurs de fronts d'ondes obtenues par lui, correspondent bien aux conditions de la pratique alors que, d'autre part, en particulier en Allemagne, les raideurs de fronts d'ondes en vertu de « procédés de mesure contestables », ne présentent aucun intérêt pratique.

(1) Ondes mobiles : propagation, formation et protection. *Revue Générale de l'Electricité* des 19 et 26 nov., 3, 10, 17 et 24 déc. 1927, t. XXII, p. 815 et suivantes.

(2) A propos des ondes mobiles : propagation, formation et protection. *Revue Générale de l'Electricité* du 21 juillet 1928, t. XXIV, p. 99.

A cette affirmation de M. LEDOUX, il y a lieu d'opposer ceci : le moyen le plus irréprochable pour la détermination de la raideur des fronts d'ondes est l'emploi de l'oscillographe cathodique ; or, les raideurs de front obtenues par ce moyen pendant les interruptions, dépassent notablement celles constatées par M. LEDOUX. Ainsi RAGOWSKI, FLEGLER, TAMM ont incontestablement prouvé l'existence de longueurs de front d'onde de 1,5 m à 2 m pour une tension d'interruption de 5 kV.

2° Dans la troisième partie (paragraphe VIII) de son étude, M. LEDOUX traite de la pénétration des ondes mobiles dans les enroulements cylindriques. Il arrive à ce résultat que l'impédance d'onde de l'enroulement augmente au fur et à mesure que cette dernière pénètre dans l'enroulement. RAGOWSKI était déjà arrivé à ce résultat, dans une étude déjà ancienne sur les enroulements et les ondes mobiles (*Archiv für Elektrotechnik*, t. VI, 1918, en particulier, p. 273). Il convient de noter que, d'après la conception de Ragowski, l'impédance d'onde atteint pratiquement sa valeur finale après le parcours d'une seule spire. Les oscillogrammes relevés sur les bobines cylindriques usuelles, ont effectivement confirmé que l'impédance d'onde définitive est pratiquement atteinte immédiatement après l'entrée de l'onde mobile. La conception des bobines comme conducteur à forte impédance d'onde correspond donc rigoureusement, d'une manière générale, aux circonstances pratiques. Des notes détaillées sur ces questions seront publiées prochainement dans *Archiv für Elektrotechnik*. En même temps il sera examiné sur la base d'expériences oscillographiques, dans quelle mesure il convient de tenir compte de la pénétration plus ou moins accentuée des ondes mobiles dans les enroulements des transformateurs de grande puissance.

3° Il est fort douteux que l'appareil de protection « GE-SCHUTZ », puisse être assimilé dans tous les cas à un simple condensateur (Ch. LEDOUX, *Ondes mobiles*, loc. cit., p. 997), car cela n'est pas toujours rigoureux si l'on considère la pure action aplanissante du condensateur. La question n'est pas résolue toutefois dans le cas de la protection contre les phénomènes de résonance (Voir FLEGLER, *Archiv für Elektrotechnik*, t. XX, 1928, p. 326).

4° La conception de M. LEDOUX, que les résultats obtenus par la considération des inductances (p. 998) et capacités (p. 1 054) ponctuelles sont entièrement erronés et n'ont aucune valeur pratique, n'est pas inattaquable. Les études détaillées faites sur la question à l'Institut Electrotechnique d'Aix-la-Chapelle, avec l'oscillographe cathodique

permettent plutôt d'admettre comme juste la conception suivante :

a) Les bobines de protection, et plus particulièrement les bobines plates insérées dans un circuit, peuvent être considérées pratiquement comme ponctuelles même dans le cas d'ondes rectangulaires, ainsi qu'il est dit plus loin (5°) (*Archiv für Elektrotechnik*, t. XIX, 1928, p. 554).

b) Les condensateurs de protection peuvent également, en général, être considérés comme ponctuels, mais la longueur des dérivations nuit à leur action. Dans ce cas, il convient donc d'être entièrement d'accord avec M. LEDOUX (Voir FLEGLER, *Archiv für Elek.*, t. XIX, 1928, p. 555 et 565).

Le fait que M. LEDOUX a introduit le coefficient d'étalement K_e dans son étude des bobines de protection, montre qu'il ne considère pas comme rigoureuse leur assimilation à un condensateur. Il a donc admis l'action mutuelle des spires.

Le fait que les bobines de protection agissent comme des inductances pratiquement ponctuelles, malgré la longueur du conducteur qui les constitue, est probablement en rapport avec l'action des spires les unes sur les autres (Voir aussi, par exemple, les considérations sur les écrans latéraux de protection. *Archiv für Elektrotechnik*, t. XIX, 1926, p. 535). Une seule exception peut être faite pour les bobines ayant une capacité à la terre suffisamment grande. De telles bobines agissent surtout, non pas comme des inductances, mais plutôt comme des circuits doubles avec faible impédance d'onde. Les études faites sur ce point paraîtront prochainement dans *Archiv für Elek.*). Le condensateur étaleur-amortisseur d'ondes de MM. BUNET et LEDOUX serait à classer dans ce groupe de bobines.

5° Dans la considération de l'étalement des fronts d'ondes, on peut certainement admettre que les ondes primaires sont rectangulaires, les longueurs usuelles des fronts d'une raideur dangereuse étant très petites à côté de celles obtenues par l'étalement (Voir, par exemple, *Archiv für Elektrotechnik*, t. XIX, 1928, p. 552).

6° On ne peut pas être d'accord avec M. LEDOUX, lorsqu'il admet qu'il est tout à fait inutile de recourir à des inductances au-dessus de 1 mH, p. 1048). Actuellement, nous ne savons rien de juste en ce qui concerne le danger des raideurs de fronts d'ondes (*Archiv für Elektrotechnik*, t. XX, p. 525). Un jugement sur la valeur du coefficient de self-induction nécessaire ne peut pas être formulé pour le moment. Toutefois, l'étude des bobines de protection a montré l'étalement obtenu pour des bobines au-dessus de 1 mH croît avec l'inductance.

7° Quant aux considérations de M. LEDOUX sur les bobines shuntées de Campos, il convient de remarquer que c'est surtout la première partie de l'onde passant par la résistance qui présente de l'intérêt pratique (*Archiv für Elektrotechnik*, t. XIX, 1928, p. 555). L'étalement admis plus tard par M. LEDOUX, par suite de la division de l'onde tend, à cause de l'inductance des bobines, à perdre son intérêt pratique.

8° En résumé, les conclusions de M. LEDOUX sur les méthodes de protection paraissent, sur certains points, devoir être corrigées.

Réponse de M. LEDOUX.

1° Les fronts d'onde dont il est question dans mon étude, correspondent à des ondes de fermeture pour des tensions de l'ordre de 10 à 15 kV. Ils n'ont d'autre prétention que de fixer des ordres de grandeur. On peut donc les étendre à des tensions plus élevées sans risque de se tromper beaucoup. M. MAUDUIT trouve que ces fronts d'onde sont beaucoup trop raides. M. FLEGLER trouve qu'ils ne le sont pas assez. Les longueurs de front d'onde de 1,5 m à 2 m pour 5 kV dont parle M. FLEGLER, ne me paraissent pas vraisemblables, pour une raison très simple ; la longueur de l'onde devenant très faible par rapport à la distance du conducteur au sol, il n'existe plus de conducteur de retour : toute l'énergie de l'onde est radiée (ondes hertziennes) et l'onde quitte le conducteur pour n'y plus revenir (1).

2° Il est peu probable que l'impédance d'onde d'un enroulement reste constante dès qu'une onde a pénétré dans la première ou même dans les premières spires. Ce point est développé dans mon rapport, on voudra bien s'y reporter. A mon avis, l'impédance d'onde varie constamment avec la forme de l'onde et avec sa pénétration dans l'enroulement qui se fait toujours avec une vitesse finie.

3° L'appareil « Ge-Schutz » me paraît toujours assimilable à un simple condensateur, parce qu'en dehors des très fortes surtensions transversales, les pertes par effluves restent négligeables, ainsi que me l'ont montré des mesures faites sur des effluves pourtant très volumineux produits à 15 000 V sur une surface vitrifiée.

4° En critiquant la théorie classique des inductances et des capacités ponctuelles j'ai montré, sur des exemples numériques, qu'on pouvait obtenir les résultats les plus variés suivant l'hypothèse initiale.

(1) Voir notamment l'ouvrage de STEINMEIZ sur *Les Phénomènes Electriques de transition*.

M. FLEGLER reconnaît que j'ai raison pour les condensateurs, mais ne l'admet pas pour les inductances. M. MAUDUIT, dans sa note, pense presque le contraire. Il m'est difficile d'admettre qu'une bobine, selon qu'elle sert de protection ou qu'elle fait partie d'un enroulement de transformateur, est réellement ponctuelle ou valablement assimilable à un conducteur de forte impédance d'onde.

5° A mon avis, on ne doit jamais admettre qu'un front d'onde est vertical, d'abord parce que ce n'est jamais possible et même jamais vraisemblable, pour la raison exposée au paragraphe premier, ensuite, parce que cette notion qui sert uniquement à faciliter les calculs, peut devenir une source grave d'erreurs ainsi que je l'ai montré à diverses reprises dans mon étude sur les ondes mobiles (p. 99 et suivantes et 1 054 et suivantes).

6° J'ai montré dans mon étude sur les ondes mobiles (p. 1 045 et suivantes), que l'action des inductances dépend surtout de leur position relative dans les circuits et non pas seulement de leur coefficient de self-induction. C'est pourquoi cette valeur n'a pas une importance très grande en elle-même. Par exemple, une bobine placée immédiatement aux bornes d'un transformateur relié à une ligne aérienne est plus nuisible qu'utile, alors que la même bobine placée à certaine distance du transformateur, ou encore suivie d'un tronçon de câble, devient efficace.

7° Les réflexions de M. FLEGLER sur les bobines Campos, s'inspirent évidemment des hypothèses initiales : onde rectangulaire et inductance ponctuelle, alors que je m'inspire de considérations contraires. Nous ne pouvons donc pas être d'accord. Si l'on shunte une bobine de protection par une résistance, ma théorie est fausse parce que l'inductance est ponctuelle, surtout si la bobine est en galette, tandis que si l'on shunte successivement chaque galette d'un transformateur par une résistance, ma théorie est exacte parce que chaque galette est comparable à un tronçon de conducteur.

8° En résumé, j'admets volontiers que les conclusions de mon étude sur les ondes mobiles peuvent avoir besoin d'une mise au point, mais je reste persuadé que la théorie classique de la propagation des ondes dans les enroulements est erronée. Il convient donc de rechercher par tous les moyens une interprétation conforme à la réalité physique des phénomènes, des résultats d'expériences enregistrés à ce jour.

Le but de mon rapport sur la propagation des ondes dans les enroulements est précisément d'essayer d'amorcer la discussion dans ce sens.

M. FALLOU. — Je ne veux pas revenir longuement sur l'opportunité qu'il peut y avoir à interpréter les phénomènes de surtensions par les ondes mobiles ou par les oscillations stationnaires, ayant déjà exprimé, à plusieurs reprises, mon point de vue sur cette question. M. LEDOUX nous dit qu'il lui paraît que l'interprétation par ondes mobiles correspond davantage à la réalité physique et fournit une image particulièrement simple et saisissante ; je crois que l'on pourrait affirmer sans plus de parti pris, que la considération de l'ensemble du phénomène en chaque point, en fonction du temps, semble mieux correspondre à la réalité physique, et fournit une image particulièrement simple et saisissante. Je crois qu'il y a là, principalement, une question d'appréciation personnelle qui ne peut avoir d'intérêt véritable que pour des pédagogues.

En ce qui concerne l'étude de la propagation des ondes dans les enroulements, M. LEDOUX m'a reproché, entre autres choses, de n'avoir pas fait table rase de la théorie classique et affirme que l'on ne peut tirer aucune conclusion valable de cette théorie.

Il apparaît néanmoins que cette théorie classique *si l'on a soin de l'ajuster conformément aux résultats que fournit l'expérience, est un instrument très commode pour interpréter ces phénomènes complexes d'une manière qui me paraît d'autant plus claire que je suis contraint de trouver confuses les explications qui en font abstraction.*

Rien n'empêche de considérer un enroulement de transformateur comme un circuit à constantes réparties : *l'expérience le prouve.* Il faut seulement avoir la précaution : 1° d'envisager comme longueur de l'enroulement non pas la longueur du conducteur, mais celle du cylindre proprement dit ; 2° de fixer pour chaque longueur d'onde la vitesse de propagation qui lui correspond, étant bien entendu que la valeur numérique de cette vitesse de propagation ne peut être fournie que par l'expérience. Dans le cas où l'onde incidente n'est pas sinusoïdale, il faut évidemment considérer individuellement les termes de la série de Fourier qui la représente.

Cette manière de faire permet entre autres choses d'éviter un certain nombre d'erreurs ou de généralisations excessives : elle évite d'affirmer, *à priori*, que le rôle de la capacité entre spires est négligeable par rapport au rôle de l'induction mutuelle, cette affirmation devenant tout à fait inexacte pour les courtes longueurs d'onde ; elle évite aussi d'affirmer d'une manière générale que les formules relatives à la propagation des ondes sur les lignes ne s'appliquent pas

aux enroulements, car, en fait, ces formules s'appliquent suffisamment pour les grandes longueurs d'ondes.

Je désire aussi relever une autre inexactitude dans les conclusions de M. LENOUX. Celui-ci a affirmé à plusieurs reprises que, pour les courtes longueurs d'onde, le rôle de la capacité se trouve masqué par celui de la résistance de l'enroulement, au moins dans les transformateurs de petites dimensions. *L'expérience apporte à cette affirmation un démenti formel* : pour les très hautes fréquences, les plus petits transformateurs de potentiel, se comportent comme des condensateurs.

Une première manière de le vérifier est d'envoyer dans l'enroulement d'un transformateur une onde de faible longueur, périodique ou apériodique, et de déterminer avec un tube de Braun ou un oscillographe cathodique la différence de phase de cette onde entre l'entrée et un point quelconque de l'enroulement : pour une valeur de la longueur d'onde inférieure à une valeur donnée (variable avec chaque appareil), cette différence de phase devient imperceptible, ce qui prouve bien que l'onde se transmet par capacité et que la résistance devient négligeable.

Une autre expérience consiste à réaliser, avec l'enroulement du transformateur et une bobine de self-inductance quelconque, un circuit de décharge et de mesurer la fréquence d'oscillation du circuit. Pour des valeurs de l'inductance inférieures à une certaine limite, c'est-à-dire au delà d'une certaine fréquence, on trouve que la période d'oscillations libres de ce circuit varie très sensiblement comme la racine carrée de l'inductance de la bobine. L'amortissement de ces oscillations libres est évidemment plus élevé que si l'on substitue à l'enroulement du transformateur un condensateur sans perte, mais l'impédance caractéristique du circuit est si grande, vu la faible valeur de la capacité *apparente* de l'enroulement, que la résistance apparente due aux pertes diverses est encore relativement petite.

Il ne suffit pas, en effet, de dire qu'un circuit possède une très grande résistance : il faut comparer cette résistance à l'impédance caractéristique.

J'en viens, enfin, à l'affirmation de M. Ledoux, d'après laquelle, en pratique, les phénomènes oscillatoires ne sont pas aussi dangereux qu'on pourrait le croire en raison de l'amortissement considérable introduit par la charge du réseau.

Cette affirmation est tout à fait exacte tant qu'il s'agit de phénomènes de très basse fréquence qui font intervenir l'oscillation pleine

onde de l'ensemble du réseau. M. Boucherot a insisté sur ce fait il y a déjà longtemps, et j'ai eu l'occasion de le contrôler, expérimentalement, il y a quelques années. Mais cette affirmation devient parfaitement inexacte lorsqu'il s'agit de phénomènes ne mettant en jeu que des oscillations locales de lignes ou d'appareils : c'est le cas, par exemple, de l'oscillation libre de décharge d'un câble intercalé entre deux transformateurs, laquelle oscillation libre n'est nullement affectée par la présence d'appareils d'utilisation aux bornes secondaires des transformateurs.

L'expérience continuelle, au Laboratoire, montre au contraire combien il est difficile de rendre un circuit complètement apériodique. A titre d'exemple assez suggestif, je citerai l'expérience suivante facile à contrôler à peu de frais. On monte un circuit comprenant un condensateur de grande capacité C , chargé par exemple au moyen d'une valve, une bobine de self-inductance L constituée par quelques spires de fil isolé enroulé en une seule couche sur un cylindre, une résistance R et un éclateur e (fig. 7). On règle la résistance R de telle sorte que le circuit soit apériodique ($R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$). Aux bornes de la self L , on connecte, non pas un éclateur à boules qui est un appareil déplorablement paresseux, mais un klydonographe K . On charge le conden-

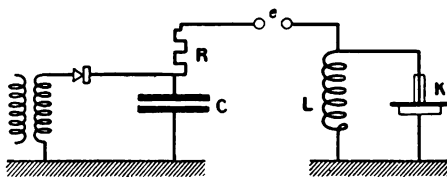


Fig. 7.

sateur au potentiel U jusqu'à ce qu'une étincelle éclate en e . En développant le klydonographe, on trouve qu'aux bornes de L apparaît systématiquement une tension d'amplitude $2U$. Si l'on examine alors à l'oscillographe ce qui se passe, on trouve qu'au début de la décharge apériodique du condensateur C , la fermeture brusque du circuit provoque une oscillation de très haute fréquence peu amortie du circuit constitué par la self L , qui se comporte comme une capacité, et par la connexion RL , le condensateur C constitue un court-circuit et la résistance R étant négligeable devant l'impédance caractéristique; la self-inductance du circuit est constituée par la boucle des connexions.

Cet exemple choisi parmi beaucoup d'autres, montre combien il

peut être difficile d'éviter toute oscillation dans un circuit qui subit un régime transitoire.

Pour terminer, je dirai que je suis d'accord avec M. Ledoux pour croire à la rareté des surtensions par résonance, dont la probabilité est très faible. Mais il faut bien se dire que les avaries survenues aux enroulements *réellement* imputables aux surtensions sont elles-mêmes extrêmement rares, au moins dans les réseaux à neutre relié au sol; bien que, même dans ces réseaux, les causes de production et propagation d'ondes parasites soient bien fréquentes. Ici encore, on peut

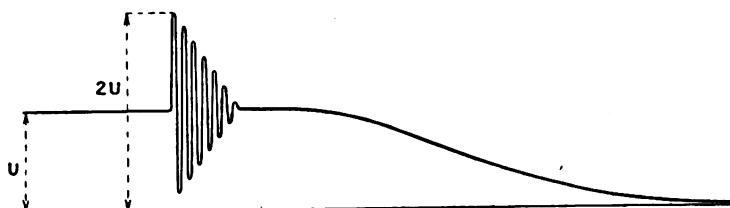


Fig. 8.

donc dire qu'il y a accord entre l'analyse expérimentale et la pratique industrielle.

Si l'on aborde le cas des réseaux à neutre isolé, on atteint un problème encore extrêmement mal étudié. On sait, toutefois, que dans ces réseaux des surtensions particulièrement dangereuses surviennent en cas d'arc à la terre. On connaît malheureusement très mal encore le processus de ces surtensions et la caractéristique de ces arcs capacitifs, on s'accorde toutefois, généralement, pour affirmer que ces surtensions ont un caractère nettement oscillatoire, quasi entretenu (fig. 8); le fait que ces surtensions soient particulièrement redoutables ne plaide-t-il pas en faveur de la thèse que nous avons soutenue, à savoir que les oscillations entretenues ou amorties sont plus dangereuses que les phénomènes apériodiques de courte durée?

M. DARRIEUS. — Si, comme nous avons eu l'occasion de le rappeler il y a deux ans, la notion d'onde mobile, quoique d'importation en apparence étrangère, trouve elle aussi son origine (intégrale de Fourier) dans l'œuvre classique du grand physicien français, il faut reconnaître avec MM. BUNET et FALLOU, que l'importance pratique des ondes à front raide a sans doute été exagérée; non seulement parce que ces ondes, généralement rares et localisées, ne mettent en jeu qu'une énergie limitée, mais parce qu'à l'égard de ces phénomènes les appareils se comportent généralement comme de pures capacités.

Si, par exemple, nous reprenons le cas d'un transformateur précédé d'une bobine d'inductance, les essais de M. FALLOU et l'expérience même des réseaux démontrent que, vis-à-vis d'une onde à front très raide, un tel ensemble se comporte comme un simple système oscillant, composé, d'une part de l'inductance concentrée, d'autre part, de la capacité unique équivalente à l'ensemble des capacités à la masse et entre spires de la borne d'entrée et du bobinage. Puisque les inductances n'entrent pratiquement pas en jeu, il n'y a pas d'effet de propagation à proprement parler, ni de surtension progressivement croissante vers l'intérieur de l'enroulement, comme ce serait le cas avec une ligne ordinaire, que caractérise simplement une impédance d'onde variable; mais, à l'entrée du transformateur, au bout d'une demi-oscillation du système harmonique, inductance-capacité, une tension double de celle (déjà doublée par réflexion) de l'onde incidente (fig. 9).

En définitive, grâce à l'inertie (beaucoup plus grande que celle

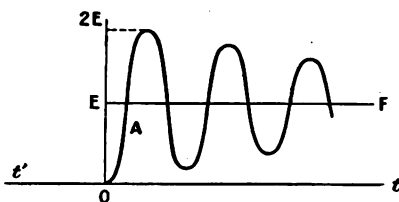


Fig. 9 — OE = tension appliquée au système
courbe A : tension entre l'inductance et le transformateur.

des éclateurs de laboratoire), que présentent heureusement les matériaux isolants, les appareils bien construits n'ont guère à redouter ces phénomènes plutôt exceptionnels.

En ce qui concerne, maintenant, la question théorique de la propagation, M. LEDOUX a mis en doute qu'une onde de 1 m 50 puisse se propager sans rayonnement le long d'un conducteur placé, par exemple, à 10 m du sol.

Or, en négligeant toutefois la résistivité des conducteurs et du sol, et se bornant aux conditions loin, par exemple à 100 m, de l'origine, pour un système de conducteurs cylindriques parallèles, il est aisé de se rendre compte que les équations de champ électromagnétique de Maxwell, ne comportent, pour une propagation sans rayonnement ni pertes, de direction parallèle en tous points à la ligne, aucune restriction quant à la forme, à la longueur ou à la raideur de l'onde dans le sens de la ligne. Dans tout plan transversal, le champ électrique E et le champ magnétique H en un point x, y , contenus dans ce plan,

sont séparément identiques à ce qu'ils seraient en régime permanent pour les tensions et courants sur les conducteurs à leur section par le plan. Si, d'autre part, la proportion entre la tension et le courant est celle qui correspond à l'impédance caractéristique, l'énergie électrique et l'énergie magnétique par unité de volume sont égales en tous points, et le champ en un point quelconque x, y, z , au temps t s'obtient simplement en multipliant le champ (à répartition statique) au point correspondant d'une section transversale quelconque, par une fonction de propagation $f(z - vt)$ absolument arbitraire, voire comportant des discontinuités en z ou t (ondes à front raide).

La propagation consiste donc simplement dans ces conditions idéales, en un transport, d'un bloc, de l'onde plane, c'est-à-dire de ses champs et de son énergie, parallèlement à la ligne, sans déformation ni radiation transversale, comme le confirme la direction, parallèle à la ligne, du vecteur radiant de Poynting (perpendiculaire à la fois à E et à H). La propagation instantanée du champ transversalement aux conducteurs n'est donc qu'une apparence (la vitesse de phase est bien cependant infinie dans cette direction), car l'énergie du champ une fois distribuée dans le milieu ambiant à partir des conducteurs au voisinage de l'origine, ne se meut plus ensuite que parallèlement à leur propre direction, à la vitesse de la lumière.

M. LEDoux. — Je désire faire quelques réflexions au sujet des remarques de M. Darrieus.

D'abord, pour la propagation d'une onde sur une ligne, il convient de ne pas oublier que l'équation des télégraphistes est établie et résolue au moyen d'un certain nombre d'hypothèses de simplifications. La première et la plus importante est celle-ci : à un élément dl de la ligne occupé par un élément d'une onde de forme quelconque correspond un champ électrique composé du champ électromagnétique et du champ électrostatique, et l'équation des télégraphistes est vraie à cette condition essentielle : c'est que pendant le temps mis par le champ électrostatique à s'établir, c'est-à-dire à se propager de la ligne jusqu'à la terre, la variation du potentiel dans l'élément dl soit faible, autrement dit il faut que l'onde soit plane, c'est-à-dire que les lignes de force du champ soient normales à la ligne.

Par conséquent, si nous avons une distance de la ligne au sol égale à 10 m, c'est une moyenne, et que nous ayons une onde mobile dont le front ait une longueur de 1,5 m à 2 m, c'est-à-dire manifestement inférieure à la distance de la ligne au sol, comme la vitesse de propagation du champ électrostatique est égale à la vitesse de la lumière,

la durée de propagation du champ sera toujours appréciable et, dans l'intervalle, le potentiel de l'élément de la ligne aura varié énormément.

Par conséquent, nous ne sommes plus du tout dans les conditions d'établissement d'équation des télégraphistes et, du moment que nous sortons de l'hypothèse initiale, cette équation n'est plus valable.

M. BUNET présente une note sur : *la propagation des phénomènes électriques rapides dans les enroulements* (1).

Une courte discussion s'engage à propos de la propagation des ondes, discussion à laquelle prennent part MM. LEDOUX, DARRIEUS et plusieurs membres dont le Président. Si l'on admet, *à priori*, que la propagation a lieu sans rayonnement ni pertes, peut-on, en s'appuyant sur les conclusions résultant de cette hypothèse fondamentale, reprocher à M. LEDOUX d'avoir mis en doute qu'une onde de 1,50 m puisse se propager sans rayonnement et, *ipso facto*, repousser ses déductions? Là semble-t-il, est justement la question.

Il est rappelé par M. LEDOUX et plusieurs collègues que Steinmetz a écrit nettement qu'une propagation de courant sans rayonnement est inadmissible dans un tel cas; cette considération est précisément inséparable de l'idée de vitesse finie pour la propagation des champs. Ses conceptions, qui ne paraissent pas avoir été combattues, sont-elles vraiment en désaccord avec celles de Maxwell, du moins avec celles réellement énoncées par Maxwell? Il serait intéressant de le préciser dans une séance ultérieure où nous disposerons de plus de temps.

M. LEDOUX. — M. DARRIEUS nous cite le cas d'un transformateur qui serait protégé par exemple par une bobine de self induction en galette.

Il assimilait la bobine de self induction, que l'on peut supposer identique à une galette de transformateur, à une inductance ponctuelle, et le transformateur à une série de condensateurs, or, je ne vois pas pourquoi cette différence d'hypothèse pour la galette de protection et la première galette du transformateur qui ont à peu près la même capacité à la terre et la même capacité entre spires.

M. FALLOU. — La première galette du transformateur est près des autres, tandis que la galette de protection est à l'extérieur. C'est là la différence.

(1) *Bulletin de la S. F. E.*, t. VIII, novembre 1928, n° 87, p. 1125.

M. LEDOUX. — La galette de protection est généralement montée sur un isolateur fixé sur une ferrure; elle est à 15 ou 20 cm en moyenne de la terre. La capacité à la terre est à peu près la même et la capacité entre spires est identique.

M. FALLOU. — Pour des fréquences de l'ordre de 200 000 p/s ou plus, la bobine mise en amont constitue effectivement une inductance ponctuelle, tandis que l'enroulement du transformateur est assimilable à une chaîne de capacités.

M. LEDOUX. — J'ai une autre remarque à faire au sujet du retard d'éclatement entre deux spires revêtues d'isolant et placées dans l'huile. J'ai pris un circuit oscillant de faible puissance contenant une bobine de self induction aux bornes de laquelle est dérivé un éclateur à pointes placé dans de l'huile prélevée sur un transformateur en service.

Sans recourir à des tensions excessives, on arrive très bien à percer l'huile; seulement, si l'on a dans l'air une distance d'éclatement de 10 à 20 mm, on a dans l'huile une distance de l'ordre de 1 à 2 mm.

Le rapport des distances de percement dans l'air et dans l'huile est sensiblement plus grand que pour les tensions permanentes à cause du retard des isolants, mais il est toujours possible, avec une quantité d'énergie très faible, de percer un isolant. C'est une question de rapport de tensions. Si, pour une tension continue donnée, on perce un isolant au bout d'un temps de l'ordre de $1/10$ de seconde et que l'on veuille arriver à percer ce même isolant avec une onde mobile, c'est-à-dire avec une quantité d'énergie faible, et dans un temps très court, il faut appliquer une tension infiniment plus grande.

M. BENOIT. — Il y a une différence essentielle entre une galette formant self ponctuelle sur une ligne, ou cette même galette comprise dans un transformateur; on peut très bien se rendre compte que, même avec les mêmes caractéristiques de construction, la première puisse jouer, par rapport aux ondes perturbatrices, le rôle d'une self inductance à peu près pure, tandis que dans le second cas elle joue le rôle d'une capacité à peu près pure.

En effet, si l'on néglige les capacités entre spires (capacités qui, en général, à très haute tension surtout, sont très faibles et dont l'action est encore atténuées par le fait qu'elles sont groupées en série) et que l'on ne tienne compte que des capacités latérales, capacités dont les armatures sont, d'une part, les éléments des spires HT et, d'autre

part, la masse du transformateur (masse dans laquelle il y a lieu de comprendre l'enroulement BT) il est clair, sans entrer dans le détail de la propagation qui nous entraînerait trop loin et qui justifierait cette manière de voir, que l'on peut grouper ces capacités latérales en deux groupes fictifs : spires d'entrée-masse et masse-spires de sortie.

Or, ces deux capacités fictives en série sont chacune d'autant plus importante que le transformateur a une capacité en kVA plus grande, si bien que l'on peut dire qu'un gros transformateur se comporte à haute fréquence ou vis-à-vis des ondes de choc, comme une capacité à peu près pure.

Au contraire, la galette seule ne comporte pas, ou très peu, cet intermédiaire principal : l'armature : masse et BT. Il ne reste donc plus guère que les capacités entre spires, qui comme nous l'avons dit, ont une action négligeable, si bien que la galette ainsi considérée se comportera comme une self-inductance à peu près pure.

M. DE PISTOYE. — L'opinion a été émise que bien des accidents, attribués à tort aux surtensions, sont dus en réalité à des malfaçons de fabrication. Je crois que cette idée n'est pas fondée, et que les surtensions sont très réellement la cause d'accidents très nombreux. A l'appui de cette information, je citerai le fait suivant : il y a une vingtaine d'années, j'étais ingénieur d'une Société qui construisait un millier de transformateurs par an. Quelques appareils, soit anciens, soit récents, revenaient tous les ans en usine pour réparations. J'ai, pendant plusieurs années, examiné et démonté moi-même ces transformateurs avariés; où au moins deux sur trois avaient eu un court-circuit dans la galette réunie à la ligne sur une des colonnes. Comme ce n'était évidemment pas toujours dans ces galettes d'entrée que se localisaient les défauts de matières ou de fabrication, il faut bien admettre que les avaries provenaient de surtensions extérieures. J'ai procédé à partir de cette époque, au renforcement de l'isolement des premières spires, et le nombre des accidents sur les transformateurs ainsi protégés est devenu très réduit.

Je veux aussi attirer votre attention sur un second point : dans les nombreux travaux qui ont été publiés depuis quelques années sur cette question, on a établi que les surtensions peuvent se propager dans tout l'enroulement des transformateurs jusqu'au point neutre, et que, par conséquent tout l'enroulement y est exposé. On a cité des exemples d'expériences ou d'accidents à l'appui de cette thèse. D'autres auteurs ont soutenu une opinion contraire. Je crois que la

raison de ces opinions divergentes réside, en partie au moins, dans le mode de construction très différent des gros et des petits transformateurs.

Dans les petits transformateurs, bobinés en fil rond, à plusieurs spires par couche, il y a peu de capacité entre spires voisines; le bobinage a, au contraire, une forte inductance, ces deux caractéristiques — faible capacité, forte inductance — s'opposent à la propagation des ondes parasites dans le bobinage, de sorte que les premières spires sont beaucoup plus exposées aux surtensions que les autres.

Au contraire, dans les gros transformateurs, bobinés en barres très plates, à raison de une spire par couche, la capacité entre spire est très élevée et on conçoit très bien que, grâce à cette capacité élevée, les ondes puissent se propager beaucoup plus facilement que dans les petits transformateurs, de sorte que les spires éloignées de l'entrée sont beaucoup plus exposées aux surtensions que dans ces derniers.

Je crois que c'est dans cette différence essentielle des gros et des petits transformateurs que réside, en partie du moins, les causes des opinions divergentes exprimées sur ce sujet.

M. FALLOU présente à la Section et lui fait adopter le projet de réponse suivant, au questionnaire du Comité pour l'amélioration du facteur de puissance, de la Conférence des Grands Réseaux, pour la partie concernant les *applications de la pratique industrielle* (page 7 du questionnaire).

IV. — *Effets de la puissance réactive et ses améliorations.*

Question 17. — Croyez-vous qu'il soit utile d'entreprendre une enquête d'une plus grande ampleur entre les diverses exploitations de production et de distribution de l'énergie électrique afin d'établir, au moyen de statistiques techniques, l'importance et la localisation de la puissance réactive entre les divers éléments d'un réseau, par rapport au type de l'exploitation ?

Réponse. — L'importance et la localisation de la puissance réactive paraissent beaucoup trop variables dans les diverses exploitations pour que l'on puisse espérer tirer des renseignements utiles d'une statistique qui serait, par ailleurs, longue et difficile à établir.

Question 18. — Croyez-vous qu'il soit utile que les différents récepteurs utilisés dans la pratique industrielle (moteurs, transforma-

teurs, récepteurs divers, etc...) soient aussi caractérisés par la puissance réactive absorbée ?

Réponse. — Il serait particulièrement utile que les différents récepteurs utilisés dans la pratique industrielle soient caractérisés par la puissance réactive absorbée.

Question 19. — Êtes-vous d'avis que le problème de la puissance réactive est d'un intérêt local concernant seulement les installations de distribution, ou bien que ce problème intéresse tout l'ensemble des installations de production, de transport et de distribution de l'énergie électrique ?

Réponse. — Le problème de la puissance réactive intéresse tout l'ensemble des installations de production, de transport et de distribution de l'énergie électrique.

Question 20. — Croyez-vous que le problème de la puissance réactive intéresse aussi les grandes entreprises de transport à longue distance et à haute tension ?

Réponse. — Le problème de la puissance réactive intéresse tout spécialement les grandes entreprises de transport à longue distance et à haute tension.

Question 21. — Croyez-vous qu'il soit intéressant de tenir compte du problème de la puissance réactive à l'occasion de l'étude ou de l'exploitation des interconnexions entre centrales ou réseaux ?

Réponse. — Il est nécessaire de tenir compte du problème de la puissance réactive à l'occasion de l'étude ou de l'exploitation des interconnexions.

Question 22. — Croyez-vous qu'il soit intéressant que le problème de la puissance réactive soit examiné simultanément avec le problème du réglage de la tension dans les divers points du réseau ?

Réponse. — Le problème de la puissance réactive doit être nécessairement examiné avec le problème du réglage de la tension.

Question 23. — Quel est le rôle que vous attribuez séparément aux

diverses entreprises de production, de transport ou de distribution dans le problème posé par la présence de la puissance réactive ?

Réponse. — Il est difficile d'attribuer aux diverses entreprises de production de transport et de distribution, un rôle spécial dans le problème posé par la présence de la puissance réactive.

Question 24. — Quel est le rôle que vous attribuez aux abonnés dans le même problème de la puissance réactive ?

Réponse. — Le rôle que l'on peut attribuer aux abonnés dans le problème de la puissance réactive dépend essentiellement de l'importance respective de ces abonnés.

Question 25. — Quelle est la politique générale que vous préconisez de suivre par rapport à la situation créée par la présence de la puissance réactive ?

Réponse. — La seule politique générale à préconiser semble être une politique de tarification judicieuse qui incite l'abonné important à aider le producteur et le distributeur à résoudre les difficultés inhérentes à la production et au transport de la puissance réactive.

Question 26. — Quel est le rôle que vous attribuez aux différents moyens, tels que les moteurs synchrones, les moteurs compensés ou synchronisés, les excitatrices séparées, les condensateurs, etc... que la technique met actuellement à notre disposition pour remédier aux effets de la présence de la puissance réactive ?

Réponse. — Le rôle que l'on peut attribuer aux différents moyens mis à notre disposition pour remédier aux effets de la présence de la puissance réactive, dépend de l'importance des installations que l'on a en vue. Les condensateurs, par exemple, sont d'un usage à recommander aux petits consommateurs, tandis que les moteurs compensés s'appliquent aux installations de moyenne puissance et les moteurs synchrones aux installations de grande puissance.

Question 27. — Avez-vous d'autres propositions à faire dans le cadre d'un programme rationnel pour remédier aux effets de la puissance réactive ?

Réponse. — En dehors de la tarification, il y aurait intérêt à éduquer les usagers et à vulgariser les nombreux moyens qui permettent à un abonné d'économiser de l'énergie réactive : par exemple, celui

qui consiste à conserver l'alimentation d'un moteur asynchrone sur son couplage « étoile » tant qu'il fonctionne à faible charge.

Question 28. — Que recommandez-vous spécialement pour remédier aux effets des pertes de tension dues à la présence de la puissance réactive ?

Réponse. — Pour remédier aux effets des pertes de tension dues à la présence de la puissance réactive, on peut recommander de produire cette puissance réactive aussi près que possible de l'appareil qui l'absorbe, afin de ne pas avoir à la transporter.

Question 29. — Croyez-vous qu'il faille se préoccuper de la présence des différents récepteurs à caractère déformant (tels que, redresseurs, transformateurs et bobines à fer saturé, etc.), par rapport au problème des puissances fictives mises en jeu ?

Réponse. — Sauf dans des cas très particuliers, il serait très prématuré de se préoccuper de la présence des récepteurs à caractère déformant.

Question 30. — Jusqu'à quel point serait-il intéressant, à votre avis, de tenir compte généralement de la situation d'un régime non sinusoïdal par rapport au problème de la présence des puissances fictives dans les installations de production, de transport ou de distribution de l'énergie électrique ?

Question 31. — Faut-il tenir compte de la dissymétrie d'une distribution polyphasée par rapport au problème posé par la présence des puissances réactives ?

Réponse commune aux questions 30 et 31. — Les tensions sont le plus généralement sinusoïdales et équilibrées dans la grande majorité des réseaux pour qu'il soit possible de les considérer *à priori* comme telles dans les applications de la pratique industrielle.

Question 32. — Etes-vous d'avis qu'il serait intéressant d'établir des normes statistiques uniformes, en vue de suivre aussi bien les effets de la présence des puissances réactives et fictives que les résultats des moyens utilisés pour remédier à ces effets ?

Réponse. — Il serait sans doute intéressant, mais très probablement impossible d'établir ces statistiques.

INFORMATIONS

DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

*Renouvellement partiel du Bureau et du Comité
par l'Assemblée générale du 5 janvier 1929.*

Le dépouillement du scrutin a donné les résultats suivants :

Suffrages exprimés	547
Bulletin nul	1
Nombre de votants	548
Majorité	275

Sont élus :

Président pour l'exercice 1930 :

MM.

PARODI (H.). Ingénieur-Conseil de la Compagnie du Chemin de fer de Paris
à Orléans 536

Vice-Présidents :

2^e Section (Eclairage, Chauffage).

DARMOIS (Eugène), Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de
Paris 544

4^e Section (Canalisation, Distribution générale, Traction).

DACUERRE (Hector). Ingénieur en Chef au Nord-Lumière 544

Secrétaires :

2^e Section (Eclairage et Chauffage).

WETZEL (Joseph), Ingénieur à la Cie des Lampes 544
DUFOUR (René), Sous-Chef de travaux d'électrochimie à l'Ecole de Physique
et Chimie industrielles 546

Membres :

pour trois ans

ALLERET (Pierre), Ingénieur des Ponts et Chaussées au service de Distribu-
tion d'Energie électrique au Ministère des Travaux publics 544

BACHELLERY (André), Ingénieur en Chef du Matériel et de la Traction aux Chemins de fer du Midi. Commissaire aux comptes sortant	545
CAMICHEL (Charles), Ancien Président du Groupe de Toulouse, Directeur de l'Institut Electrotechnique de Toulouse	543
DETÔUF (Auguste), Directeur général de la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston, Administrateur délégué de l'Alsthom	541
DUMONT (Eugène), Secrétaire général du Groupe Sud-Est, Directeur général aux Câbles de Lyon de la Compagnie générale d'Electricité	543
GUILBERT (Cyrille), Sous-Directeur de l'Ecole Supérieure d'Electricité, Professeur adjoint au Conservatoire National des Arts et Métiers	544
LEBLANC (Maurice), Directeur de la Société Anonyme Hewittic, Président sortant de la Section d'Eclairage	544
LEVASSEUR (Albert), Ingénieur Conseil, Professeur à l'Ecole supérieure de Fonderie, Secrétaire sortant de la Section d'Electrochimie	545
MAISONNEUVE (Henri), Ingénieur en Chef du Service Commercial technique à la Compagnie des Lampes, Secrétaire sortant de la Section d'Eclairage	541
MALEGARIE (Charles), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Directeur général de la Compagnie Parisienne de Distribution d'Electricité	543
MESNY (René), Directeur des Etablissements Belin	543
PERIDIER (Julien), Directeur général des Tramways de Toulouse, Vice-Président sortant de la Section de Canalisation et Traction	545
DELLA RICCIA (Angelo), Ingénieur Conseil	540
RIEUNER (Paul), Ingénieur en Chef du Service des Usines et Sous-Station de la Compagnie Parisienne de Distribution d'Electricité	546
ULRICH (Jacques), Administrateur délégué de la Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris	544
WIDMER (Albert), Directeur technique de la Compagnie Electro-Mécanique ..	540

pour un an

BUDEANU (Constantin), Professeur de l'Ecole Polytechnique de Bucarest, Directeur de la Société Electrica	539
--	-----

Commission des Comptes :

VALBŒUZE (Robert de), Administrateur délégué de la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage	546
SCHWARRBERG (E.-G.), Directeur général de la Compagnie Electro-Mécanique ..	544
GROUSSE (Gaston), Administrateur délégué du Nord Lumière	543

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ ⁽¹⁾

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ.

Centrales électriques, par F. DROUIN, Directeur technique aux distributions d'énergie de la Compagnie générale d'Electricité. Maître de conférences à l'Ecole supérieure d'électricité. Editeur J. B. Baillière et fils, 19, rue Hautefeuille, Paris. Un volume broché de $23^{\text{cm}} \times 16$ de 600 pages (1928). *Don des éditeurs.*

ELECTROCHIMIE

Etude résumée des accumulateurs électriques, par L. JUMAU, officier de l'Instruction publique, ingénieur électricien, lauréat de l'Institut. Editeur Dunod, 92, rue Bonaparte à Paris (VI^e). Un volume broché de $25^{\text{cm}} \times 17$ de 326 pages. *Don de l'éditeur.*

TRANSMISSION PAR ONDES

Données numériques de Radioélectricité, par R. MESNY, professeur d'hydrographie de la marine, directeur du Laboratoire national de Radioélectricité. Editeur Gauthier-Villars et C^e à Paris, 55, quai des Grands-Augustins. Un volume broché, $28^{\text{cm}} \times 21$ de 26 pages (1923-1924). Prix : 15 francs. *Don de l'auteur*

RECHERCHES PHYSIQUES.

Introduction à la Physique des Rayons X et Gamma, par MM. Maurice DE BROGLIS, membre de l'Institut, et Louis DE BROGLIE, docteur ès-sciences. Editeur Gauthier-Villars et C^e à Paris, 55, quai des Grands-Augustins. Un volume broché $24^{\text{cm}} \times 15 \frac{1}{2}$ de 200 pages, année 1928. *Don de l'éditeur.*

Données numériques d'électricité, magnétisme et d'électrochimie, par MARIE CH., docteur ès-sciences. Editeur Gauthier-Villars et C^e, à Paris, 55, quai des Grands-Augustins. Un volume broché $27^{\text{cm}} \times 22$ de 174 pages, année 1928. Prix : 70 francs. *Don de l'auteur.*

The Scientific Papers, par James CLERK MAXWELL. Editeur J. Hermann, 66, rue de la Sorbonne, Paris. Deux volumes brochés $28^{\text{cm}} \times 23$ de 604 et 806 pages, année 1927. *Don de l'éditeur.*

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société Française des Electriciens, 14, avenue Pierre-Larousse, de 14 à 18 heures, tous les jours, sauf le Dimanche.

Le temps absolu et l'Espace à quatre dimensions (*la gravitation, la masse, la lumière*), par SÉVIN Emile, ancien élève de l'Ecole polytechnique, ingénieur en chef des Services techniques à la C^e d'Orléans. Editeur Albert Blanchard, 3 et 3 bis, place de la Sorbonne, Paris. Un volume broché 25^{cm} × 16, de 124 pages, année 1928. Prix : 22 francs. *Don de l'éditeur.*

La théorie électrique moderne, par Norman-Robert CAMPBELL, de l'Université de Leeds. Editeur A. Hermann et fils, 6, rue de la Sorbonne, année 1919. Un volume broché 25^{cm} × 16 de 465 pages. Prix : 18 francs. *Don de l'éditeur.*

Théorie quantique des spectres. La Relativité, supplément à l'ouvrage *La théorie électrique moderne* par Norman-Robert CAMPBELL. Editeur J. Hermann, 6, rue de la Sorbonne. Paris. Un volume broché 25^{cm} × 16 de 233 pages. *Don de l'éditeur.*

ENSEIGNEMENT.

Cours de Physique Générale, par H. OLLIVIER, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Strasbourg. Editeur Hermann et C^e, 6, rue de la Sorbonne. Paris. Trois volumes brochés 25^{cm} × 16 de 780-510-712 pages. Prix : 65 francs. *Don des éditeurs.*

FORMULAIRES. — AIDE-MÉMOIRE. — MANUEL.

Agenda Dunod 1929 : Travaux publics, par E. AUCAMUS, ingénieur des Arts et Manufactures. Editeur Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris, VI^e. Un volume relié de 15^{cm} × 10 de 465 pages. Prix : 17 francs. *Don de l'éditeur.*

Agenda Dunod 1929 : Construction mécanique, par J. IZART, Ingénieur-Conseil. Editeur Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris, VI^e. Un volume relié de 15^{cm} × 10 de 465 pages. Prix : 17 francs. *Don de l'éditeur.*

Dictionnaires techniques illustrés en six langues, français, allemand, anglais, russe, italien, espagnol, par Alfred SCHLOMANN, tome II, *Electrotechnique et Electrochimie*, édition entièrement refondue et augmentée. Editeur Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris, VI^e. Un volume relié de 25^{cm} × 18 de 1.304 pages contenant 3 965 illustrations et de nombreuses formules, année 1928. *Don de l'éditeur.*

Agenda Dunod : Electricité aide-mémoire pratique de l'électricien, par L. D. FOURCAULT, rédacteur en chef de *l'électricien*. Editeur Dunod, 92, rue Bonaparte Paris (VI^e). Un volume relié de 15^{cm} × 10, de 465 pages. Prix : 17 francs. *Don de l'éditeur.*

Manuel pratique des batteries de démarrage de Fulmen, Editeur Fulmen à Clichy. (Seine). Un volume relié de 16^{cm} × 22, de 256 pages, année 1928. Prix : 25 francs. *Don de l'éditeur.*

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

*Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques
françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.*

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Centrales électriques. par F. DROUIN, Directeur technique aux distributions d'énergie de la Compagnie générale d'électricité, maître de conférences à l'Ecole Supérieure d'électricité. Un volume grand in 8° de 602 pages avec 242 figures. — Broché 85 fr. relié 97 fr.

Cet ouvrage est consacré exclusivement aux centrales thermiques et plus spécialement aux centrales à vapeur. Entre la « centrale domestique » qui alimente une maison d'habitation à l'aide d'un moteur à pétrole de quelques centaines de watts et d'une batterie d'accumulateurs et la « supercentrale » doit la puissance tend à atteindre un million de kilowatts, il y a la place pour toutes les puissances et pour les dispositions les plus variées.

L'Auteur a consacré son ouvrage aux installations les plus fréquentes, et surtout à celles qui ont la sanction d'une expérience de quelque durée ; cependant, toutes les dispositions que l'on rencontre dans les supercentrales y sont mentionnées et leur fonctionnement y est minutieusement étudié.

Dans le chapitre intitulé « Constitution générale de l'usine » on étudie de quelle façon doit être conçu le plan général des diverses installations pour que l'exploitation se fasse dans les conditions les plus économiques. Puis, divers chapitres traitent de l'alimentation en eau, en combustible, et de tous les appareils mis en œuvre pour assurer cette alimentation.

Les moteurs thermiques y sont étudiés au point de vue de leurs aptitudes à la commande des génératrices électriques, et aussi des propriétés respectives des divers genres de machines qui sont susceptibles d'être employés. Cette étude est faite non seulement en ce qui concerne le fonctionnement proprement dit des groupes électrogènes, mais aussi en ce qui se rapporte à l'entretien des installations.

La description des machines et appareils électriques des tableaux de distribution, des appareils de protection, leur installation dans les salles de machines font l'objet de deux chapitres de l'ouvrage.

Enfin, l'auteur étudie les conditions d'exploitation rationnelle d'une centrale électrique en distinguant, d'une façon judicieuse, l'exploitation commerciale de l'exploitation technique.

Cet ouvrage constitue, par la documentation qu'il renferme et par les résultats d'exploitation qu'il mentionne, un véritable guide pour l'exploitant de station centrale électrique. L'Industriel, l'Ingénieur et le Technicien le liront aussi avec le plus vif intérêt.

ÉLECTROCHIMIE. — ÉLECTROMÉTALLURGIE. — PILES. — ACCUMULATEURS.

Étude résumée des accumulateurs électriques, par L. JUMAU, officier de l'Instruction publique, Ingénieur électricien, Lauréat de l'Institut. 3^e Edition. Volume 16 × 25 de 326 pages avec 144 figures. — 1928. Prix France

et colonies. Relié 71 fr. 60, broché 61 fr. 60 ; Etranger. Relié 78 fr. ; broché 68. Dunod, Editeur. — Don de l'Editeur.

Les accumulateurs électriques sont de plus en plus employés dans l'Industrie : pour la traction électrique, pour l'éclairage et le démarrage des automobiles, pour l'éclairage des véhicules de toutes sortes, pour la radio diffusion, et même on tend à les substituer aux piles dans les applications où celles-ci étaient employées en raison des faibles intensités exigées.

Tous ceux qui emploient les accumulateurs sont intéressés à savoir qu'ils tireront d'autant plus d'énergie de leurs batteries, qu'ils les entretiendront d'une façon plus judicieuse, et qu'ils les feront débiter dans les conditions les plus favorables à l'obtention du rendement maximum. Les Industriels qui les fabriquent ont aussi le plus grand intérêt à posséder une connaissance approfondie des phénomènes dont ces appareils sont le siège, et à observer les règles de construction consacrées par l'expérience.

L'Auteur, dont la compétence dans ce domaine est universellement reconnue, donne dans le présent ouvrage un résumé de ses travaux sur les « accumulateurs électriques ». Il le destine principalement aux Industriels et aux Techniciens désireux de trouver sous une forme succincte les principaux renseignements qui sont susceptibles de les intéresser sur la théorie et la technique des accumulateurs, ainsi que sur leurs applications.

Dans cette nouvelle édition qui comprend, comme celles qui l'ont précédée, la théorie de l'électrolyse ; la théorie et la technique de l'accumulateur au plomb et des autres accumulateurs ; une description des accumulateurs au plomb, de l'accumulateur fer-nickel ; et un chapitre très détaillé sur les applications des accumulateurs, l'Auteur insiste particulièrement sur les applications qui se sont le plus développées pendant ces dernières années, c'est-à-dire sur les batteries de démarrage électrique, de radiodiffusion et de traction.

Nul doute que cet ouvrage n'obtienne le plus légitime succès chez les Industriels, chez les Ingénieurs et chez tous ceux qui emploient les accumulateurs électriques.

TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. — TRANSMISSION PAR ONDES

L'Onde électromotrice. — Théorie élémentaire des transmissions de courants alternatifs, suivie de l'application des courants alternatifs aux liaisons téléphoniques, par L. AGUILLOX, Ingénieur des Télégraphes ; un volume 16 × 25 de 165 pages avec 57 figures. — Etienne Chiron Editeur (Don de l'Editeur).

L'auteur étudie l'onde électromotrice, c'est-à-dire la force électromotrice qui se propage le long d'une ligne, dans le cas des courants téléphoniques en employant les procédés du calcul vectoriel.

Dans la première partie, il établit les équations géométriques des courants alternatifs dans les réseaux d'impédance, et le diagramme de la transmission sur une ligne homogène entre un transmetteur et un récepteur ; il étudie le mécanisme de la transmission sur une ligne hétérogène, et le diagramme au raccordement de deux lignes différentes dans plusieurs cas déterminés.

La 2^e partie est consacrée à l'application aux transmissions téléphoniques sur les lignes usuelles, à l'étude de la pupinisation et des problèmes qui se posent à son sujet ; elle se termine par des considérations sur le choix des lignes et des appareils.

Cet intéressant ouvrage montre qu'une grande simplification peut être introduite dans l'étude des conditions de propagation des courants alternatifs par l'emploi des procédés géométriques qui sont à la base du calcul vectoriel.

RECHERCHES PHYSIQUES.

Protection contre les effets nuisibles de l'électricité, par F.-G. DE NERVILLE, Ingénieur en Chef des Télégraphes, Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et A. HARDY, Ingénieur des Télégraphes, sous le patronage de l'Union des Syndicats de l'électricité ; de la Société Française des Electriciens, du Syndicat professionnel, des Ingénieurs Electriciens

français, un vol. grand in-8 de 860 pages avec 279 figures, relié 137 fr. broché 125 francs. — J.-B. Baillièrre et fils Éditeurs, Paris (Don de l'Éditeur).

Cet ouvrage fait partie de l'encyclopédie d'électricité industrielle, publiée sous la direction de M. André Blondel membre de l'Institut. Les Auteurs y étudient les diverses sortes de méfaits imputables à l'électricité, accidents, perturbations, troubles plus ou moins graves dus, soit aux manifestations brutales de la foudre, soit au fonctionnement défectueux d'installations électriques, ou à des imprudences du public, soit à des phénomènes parasites accompagnant, normalement ou fortuitement, la marche même régulière de certaines exploitations.

Un premier chapitre traite des effets physiologiques de l'électricité et des diverses théories émises pour définir les causes de la mort par électrocution : des chapitres sont consacrés aux effets de la foudre, aux accidents violents à des personnes ou à des choses imputables à des installations industrielles.

Les perturbations et les dégâts occasionnés par les courants vagabonds y sont étudiés, ainsi que les troubles apportés par induction au fonctionnement des lignes de communication par les installations électriques industrielles.

Dans ces études, on examine d'abord la genèse des accidents ou des troubles ; ensuite, on mentionne les moyens ou dispositifs à employer pour les éviter ou combattre leurs effets. Elles aboutissent à l'exposé des mesures que les Pouvoirs Publics ont été amenés à prendre pour la défense du public, ainsi que des prescriptions qu'ils ont édictées dans ce but : création du « Contrôle des installations électriques », Lois, décrets et circulaires, constituant la réglementation actuelle et concernant la sécurité des installations électriques.

Cet ouvrage se caractérise non seulement par l'abondante documentation qu'il contient, mais aussi par la haute portée scientifique qu'ont su lui donner leurs savants Auteurs.

Les Exploitants des grands réseaux de transport et de distribution, les Industriels, les Ingénieurs, y trouveront la solution de tous les problèmes qui intéressent la sécurité des installations électriques, et les prescriptions administratives qu'ils sont tenus d'observer dans tous les cas de la pratique.

IL Y A 30 ANS

Réunion ordinaire mensuelle du 4 janvier 1899

Présidence de M. HILLAIRET, *vice-président*.

M. BRUNSWICK fait une communication sur les coupe-circuit à interrupteurs, à la suite de laquelle M. Zetter présente quelques spécimens d'appareils construits par la Compagnie française d'appareillage électrique (anciens Etablissements Grivolos, puis Saget et Grillet). Des appareils construits par MM. Genteur, Vedovelli, Mornat, sont également présentés à cette séance.

M. BOUCHEROT souhaite que des relations s'établissent entre les fabricants d'appareils de commutation et d'interruption, et les exploitants de stations centrales, à l'effet de réaliser des appareils d'interruption qui fonctionnent bien sous des tensions alternatives de plusieurs milliers de volts et quelques centaines d'ampères.

M. HILLAIRET souligne l'importance de la question, en signalant la nécessité absolue d'entrer dans la voie de la construction des appareillages de prix élevé ; car, il ne faudrait pas tomber dans l'erreur de croire qu'un appareil d'interruption est un accessoire ; on s'exposerait aux plus graves mécomptes, en ne le considérant pas comme un organe jouant un rôle important.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion ordinaire mensuelle du Samedi 2 Février 1929, p. 115.
Admissions de Membres titulaires, p. 115.
Membre décédé, p. 116.
Distinctions accordées aux Membres de la Société, p. 116.
Dons à la Société, p. 117.
Allocution de M. BUNET, Président entrant, p. 117.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

L'ozone et ses applications (M. OTTO), p. 129.
Le téléphone automatique rural (M. CHAUVEAU), p. 195.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p. 207. — Texte, p. 207.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 221.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 222.

IL Y A TRENTE ANS, p. 224.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Samedi 2 Février 1929

Présidence de M. BUNET.

La séance est ouverte à 16 h. 30.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Aronovici (David), ingénieur Soc. Singer, 41, rue Voltaire, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert

Bayard (Robert), ingénieur des Etablissements Martinot, 9 et 11, rue des Rondonneaux, à Paris (20^e). Domicile : 23, rue Pinet, à Saint-Maur (Seine). — Présenté par MM. Boucherot et Bunet.

Beloue (Alphonse), ingénieur-conseil, 15, rue Poncelet, à Paris (17^e). — Présenté par MM. Boucherot et Bunet.

Borel (Adrien), administrateur-directeur de la Société Industrielle pour la Fabrication d'appareils de mesure, 3, rue Godot-de-Mauroy, à Paris. Domicile : 1, rue Eugène-Manuel, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Bunet et Lallement.

Cacheux (Roger-Antoine), ingénieur à la Ceskonioravska-Kolben, Danek à Praha-Vysocany, Tchécoslovaquie, Nad Stolare Rudolforon c 14 à Praha VII. — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.

Cardoso (Antonio, Carlos), Professeur à la section d'Electrotechnique de l'Ecole Polytechnique de S. Paulo (Brésil). — Présenté par MM. de Souza et Andrade Filho.

Cordier (Albert-Marc-Emile), ingénieur-directeur du département Matériel Traction et Isolants. Aciéries de Gennevilliers, 151, rue des Cabœufs, à Gennevilliers (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Macaire.

Coutin (Jean-Marie), directeur de la S.A.F. « La Lampe Philipps », à Bordeaux. Domicile : 91, rue Porte-Dijeaux, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Lédieu et Cossel.

Daguet (René-Arthur-William), ingénieur chef de Service à la Société « Alsthom », 61, boulevard de la Station-Pierrefitte (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.

Edhem (Saady), élève vétéran à l'E.S.E., 15, place des Etats-Unis, à Montrouge (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Effenterre (Paul-Louis-Marie), ingénieur, Anciens Etablissements Saunier Duval Frisquet, 60, rue Stephenson, à Paris (18^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.

Esmenard Midy (Emile), chef du Département Automatique Appareillage Electrique Brandt et Fouilleret, 23, rue Cavendish, à Paris (19^e). Domicile : 68, rue de l'Assomption, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.

Fonsèque (Jacques), administrateur délégué des Etablissements Paz et Silva, 55, rue Sainte-Anne, à Paris (2^e). — Présenté par Maisonneuve et Grosselin.

Fournier (Eugène), ingénieur E.P.C.I., directeur de l'Usine d'Arcueil, des Etablissements Gaiffe Gallot et Pilon (Piles Electriques), 31, avenue F.-V. Raspail, à Arcueil (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.

Gondet (Henri-Adolphe), ingénieur de la Maison Beaudoin, mécanique de précision, rue Lhomond, à Paris. Domicile : 57, rue du Plateau, à Châtillon-sous-Bagneux (Seine). — Présenté par Boucherot et Bunet.

- Gonon** (Claude-Henri), ingénieur aux Aciéries de Gennevilliers, 151, rue des Cabœufs, à Gennevilliers (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Macaire.
- Herreyres** (Roger-Jean-Élie), ingénieur chef du service traction. Direction générale de l'Accumulateur Tudor, 180 à 206, route d'Arras, à Lille (Nord). — Domicile : 119, rue Barthélemy-Delespeaul, à Lille (Nord). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Laigle** (Léon-Victor), directeur général de la Société des Forces Motrices de la Truyère, 56, rue du Faubourg Saint-Honoré, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Bunet et Fallou.
- Laporte** (Georges), directeur de l'Union Hydroélectrique, 107, boulevard Haussmann, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Jouaust et Bunet.
- Lévy** (Lucien), administrateur délégué des Etablissements Radio L. L., 5, rue du Cirque, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Marthourey** (Paul-Pierre), ingénieur principal aux Aciéries de Gennevilliers (Seine), 151, rue des Cabœufs, à Gennevilliers (Seine). — Présenté par Macaire et Bunet.
- Martin** (Paul), ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur du Chemin de fer Métropolitain de Paris, 22, avenue de Saxe, à Paris (7^e). — Présenté par MM. Ulrich et Pornin.
- Masson** (Georges-Gustave-Gérard), ingénieur aux Etablissements Edouard Belin (télégraphie, téléphotographie), 296, avenue de Paris, La Malmaison Rueil (Seine-et-Oise). Domicile : 47, boulevard Poniatowski, à Paris (12^e). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Otto** (Marius-Paul), président du Conseil d'Administration de la Société Havraise d'Energie Electrique, à Paris, 8, rue de Presbourg, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Otto** (Maurice), ingénieur à la Société Havraise d'Energie Electrique, à Paris, 30, boulevard Flandrin, à Paris (16^e).
- Perotin** (Pierre-Rémi), ingénieur E.S.E., 43, avenue de l'Observatoire, à Paris (5^e). — Présenté par MM. Gratzmuller et de Pistoye.
- Rouaze** (Jean-Yves), directeur commercial de la Société Hewittic, 11, rue du Pont, à Suresnes (Seine). Domicile : 17, rue Fabre-d'Églantine, à Paris (12^e). — Présenté par MM. M. Leblanc et A. Widmer.
- Sostène** (Victor-Eugène), administrateur Société « Le Transformateur », 15, avenue Maïgnon, à Paris. Domicile : 60, boulevard Malesherbes, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Bunet et Barrusta.
- Valton** (Marcel-François), chef du Service technique petit matériel à la Société Alsthom (Usine de Neuilly-Plaisance), 12, rue Emile-Zola, à Nogent-sur-Marne (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Viard** (Georges-Antoine), directeur général des Sociétés Anonymes « Lignes télégraphiques et téléphoniques » et « Lignes télégraphiques et téléphoniques Nord-Africaines », 252, rue de Vaugirard, à Paris (15^e) et 47, rue Michelet, à Alger. — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.

Ces Candidats sont élus membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président fait part du décès de M. Paul Bizer, Administrateur de la Compagnie générale d'Electricité, à Paris, Administrateur Délégué de la Société générale de Force et Lumière, à Lyon, qui a rempli un rôle de tout premier plan dans le développement de la production électrique en France et il adresse à la famille du disparu les condoléances de la Société.

Il annonce les promotions ci-après dans l'ordre de la Légion d'Honneur :

Commandeur

M. MILON, Directeur de l'Exploitation téléphonique.

Officiers

M. GRANAT, Ingénieur Constructeur.

M. ROBARD, Président de la Société « Lignes télégraphiques et téléphoniques.

Chevalier

M. LANGE, Ingénieur des P. T. T., Directeur du Service des lignes souterraines à grande distance.

M. le Président fait part des dons suivants faits à la Société pour la Bibliothèque et l'Ecole Supérieure d'Electricité :

1° par M. PICOU, de collections de périodiques et ouvrages divers dont certains sont fort rares sinon introuvables.

2° par M. DAINVILLE, le paysagiste connu, un tableau destiné au Bureau du Directeur de l'E. S. E.

Il adresse à ces généreux donateurs les remerciements de la Société.

M. le Président prononce, ensuite l'allocution suivante :

Mes chers collègues,

Je me souviens comme d'une époque récente du temps où, modeste débutant dans l'industrie électrique, je venais écouter en cette salle les communications et les discussions des électriciens de la première heure, fondateurs de notre Société. Je ne pensais certainement pas que vous me feriez un jour le grand honneur de me laisser asseoir dans ce fauteuil; j'en suis extrêmement touché et vous en témoigne mes remerciements les plus sincères en vous assurant que j'apporterai mes meilleurs soins et toute mon activité à la gestion de notre Société.

Il m'est agréable aussi d'exprimer toute la reconnaissance que je dois à ceux de nos anciens présidents, mes prédécesseurs, qui m'ont aidé à parcourir ce chemin.

Le premier que je rencontrai fut Hospitalier dont je suivis les cours à l'Ecole de Physique et de chimie en 1890; il m'initia aux beautés du

système C.G.S. avec la tenace rigueur qui est restée le trait caractéristique de sa mémoire. Hospitalier suivait de très près les travaux du laboratoire, donnant à ses élèves les plus précieux conseils sur les méthodes de mesure, sur l'approximation obtenue, exigeant fermement la parfaite clarté aussi bien dans la réalisation des montages et la disposition des fils et des instruments, que dans la rédaction des procès-verbaux et la discussion des résultats. Je gagnai certainement, grâce à lui, quelque disposition dans cette voie et je me suis efforcé de ne pas trop la perdre.

Je suivis un peu plus tard, à la Sorbonne, le cours d'électricité de notre Président Lippmann. Cette électricité ne ressemblait, à vrai dire, pas beaucoup à celle d'Hospitalier et raccorder les points de vue des deux maîtres sur une même question, constituait pour l'élève un exercice de premier ordre; j'en conserve du reste le meilleur souvenir.

J'eus en même temps pour maîtres nos présidents Pellat, puis Bouty. Je vis d'un peu plus près ce dernier qui me reçut à la licence ès sciences physiques. En plus de l'enseignement d'une Physique qui paraît maintenant quelque peu vieille, mais que je ne pense pas inutile d'avoir apprise en croyant qu'elle était bonne, Bouty aimait à répandre ses idées sur les bienfaits des exercices du corps, surtout la marche en montagne. Il me servit de parrain au Club Alpin, et je me suis souvent souvenu de lui après quelque longue course dont je n'oserais comparer l'attrait à celui de certains chapitres de la Physique.

C'est vers cette époque que je connus Boucherot et que commencèrent les agréables conversations que nous n'avons cessé de poursuivre. Il m'a bien souvent aidé, par un mot plutôt que par de longues explications, à saisir quelque difficulté, à résoudre quelque question embarrassante.

En 1895, je fus présenté par Curie qui, s'il ne fut pas notre président, l'eût certainement été s'il n'eût disparu si tristement, à M. Postel-Vinay, alors président sortant de notre Société. Ce furent mes débuts dans l'industrie électrique, en ce temps beaucoup moins compliquée qu'actuellement. On n'y parlait pas de spécialisation et je devais passer dans la même journée du courant continu au courant alternatif, d'une lampe à arc à un transformateur, de la traction à la téléphonie. Nous voyions du reste tous les appareils évoluer rapidement, cherchant leurs formes définitives. Comme mes collègues de cette époque, je me souviens avec bien du plaisir de la vie intense dans l'atelier, de ces mises au point si variées; c'était vraiment passionnant, et notre enthousiasme ne s'arrêtait pas à la recherche de la journée de huit heures! M. Postel-Vinay dirigeait son personnel de la manière simple et affec-

tueuse bien connue de beaucoup d'entre nous; il prenait volontiers part à de ces interminables discussions sur des points techniques qui ne nous permettaient que rarement de dîner à ce que l'on convient d'appeler l'heure.

Un peu avant 1900, Maurice Leblanc commença une certaine collaboration avec les Etablissements Postel-Vinay, et j'eus la bonne fortune d'être désigné pour étudier sous sa direction des réalisations des travaux éminents qu'il présenta à notre Société. J'appris ainsi beaucoup de choses, nouvelles à cette époque, dans de fréquentes entrevues avec Leblanc entre lesquelles il préparait, de sa fine écriture, de nouveaux calculs qu'il me remettait en me prodiguant toutes explications. Nous étudiâmes ainsi de grands alternateurs asynchrones et différentes machines sortant de l'ordinaire; finalement, il fut décidé de construire d'abord un transformateur-redresseur ou « pançhahuteur » de 160 volts et 1 600 ampères, d'un type original, n'ayant en rotation que des balais sur un collecteur fixe, forme présentée à nouveau récemment sous le nom de « transverter ». Le nombre de problèmes à résoudre d'un coup était grand, tant dans l'établissement de l'appareil même que dans son adaptation à un service difficile, mais cela n'arrêtait pas Leblanc, au contraire, et je le suivais avec enthousiasme. Les essais durèrent longtemps et ils nous amenèrent surtout à bien connaître un certain nombre de points qu'il n'aurait pas fallu utiliser dans la construction d'un second appareil qu'on ne nous laissa pas réaliser, bien à tort je le crois. Ces essais étaient suivis avec intérêt par le client, car malheureusement pour nous il y en avait un, qui manifestait le désir de se servir de sa machine, qui nous examinait avec la bienveillance et l'amabilité, non dénuées toutefois de quelque pointe d'ironie, que nous connaissons tous à notre Président Eschwège; c'est sur ces bases que se fondèrent les amicales relations que j'aime à avoir avec lui.

Je présente aussi mes bons remerciements à nos présidents récents avec lesquels j'ai eu le plaisir de collaborer comme membre du Comité et du bureau ou comme président de la 3^e section, et qui m'ont honoré de leur sympathie et de leur confiance.

Vous avez pu, mes chers collègues, constater la marche ascendante de notre société au cours de ces dernières années; vous savez tous la part qu'il faut attribuer à notre ancien Président Grosselin et combien nous devons le remercier de son dévouement. Le nombre des membres s'accroît d'une manière continue selon une progression inconnue autrefois. Mais nous ne sommes pas encore assez nombreux, donc les efforts que nous avons tous à faire afin d'augmenter l'importance et

les ressources de notre société ne doivent pas faiblir, bien au contraire. L'Ecole supérieure d'Electricité, qui fonctionne à Malakoff depuis bientôt deux ans, aura encore besoin pendant un certain temps d'une aide sérieuse pour des compléments d'aménagements et diverses extensions. Puis viendra le Laboratoire Central. Nous devons donc, avec la précieuse collaboration de leur directeur, penser constamment à ces établissements dont notre Société peut être fière et dont elle a le devoir d'assurer la bonne marche; leur vie étant si intimement mêlée à la propre existence de la Société française des Electriciens.

Je me rappelle d'un temps, qui n'est pas très éloigné, où certains de nos collègues déclaraient ouvertement préférer porter leurs écrits à quelque journal ayant plus de lecteurs que le bulletin de notre société. Actuellement, notre bulletin est envoyé à 2500 personnes, et beaucoup le lisent certainement; nous devons faire que ce soit rapidement beaucoup plus encore.

Notre bulletin devient une revue bien complète de toutes les questions nouvelles. Elles y sont traitées dès qu'elles apparaissent par les compétences les plus autorisées, nos Sections avec leurs présidents constituant, en quelque sorte, un comité de rédaction actif, permanent et inégalé. Les lecteurs reçoivent ainsi annuellement plus de 1 200 pages, presque toutes sur des sujets scientifiques, techniques ou industriels. Nous espérons arriver à faire encore mieux, malgré nos ressources trop limitées. La collaboration est devenue très abondante et nous pourrions sans peine, si ce n'était le prix, augmenter beaucoup le volume de matières publiées. Nous venons de décider, en faveur des auteurs de communications, de leur remettre gratuitement des tirages à part, à titre de modeste rémunération.

J'ai recueilli, au cours de nombreuses conversations avec certains d'entre vous, la manifestation de quelque étonnement en constatant le rôle vraiment trop réduit que joue la Société des Electriciens à différents points de vue; je partage d'ailleurs ces sentiments. C'est ainsi que toutes les questions de réglementations, de classifications dans le domaine électrique, auraient dû être traitées et discutées, au moins pour avis ou pour approbation, au sein de notre Société, seul organisme où l'on puisse trouver à la fois réunis des savants, des professeurs, des techniciens, des constructeurs, des exploitants, des consommateurs, le public même, chacun figurant à titre personnel, en dehors de considérations purement commerciales qui ne peuvent jamais chez nous obtenir une importance exagérée. Ne voyions-nous pas encore récemment que la question de la puissance réactive, celle des propriétés et de l'emploi des moteurs à cage d'écureuil, pour ne

citer que ces deux exemples, reçurent, en quelques-unes de nos séances de sections, une impulsion qu'elles n'auraient probablement pu obtenir aussi complètement, avec examen sur des faces aussi diverses, en aucune autre organisation? Dans le même ordre d'idées, nous devons constater que la Société des électriciens, malgré l'appui certain qu'elle apporterait, n'a été appelée à avoir de représentation dans aucune grande commission ministérielle, sauf une seule qui n'a rien de spécialement électrique. Le Ministère des Travaux publics l'a oubliée dans son Comité d'Electricité, aussi bien que dans tous ses comités s'occupant des forces hydrauliques, des grands transports, de l'électricité rurale, etc...

Nous sommes tous ici à regretter, je le crois, que la Société française des Electriciens, par suite de circonstances qu'il est d'ailleurs difficile de définir et préciser, n'eût ni recueilli, ni conquis, de ces côtés, la place qui aurait dû lui revenir. D'autres organisations, en trop grand nombre peut-être, ont dû traiter des problèmes qui se posaient et dont elle ne s'occupait pas. Nous nous trouvons donc en présence de certaines situations qui ne peuvent changer du jour au lendemain. Quoi qu'il en soit, nous sommes maintenant dans une bonne voie de collaboration cordiale avec tous, afin que s'obtiennent les plus profitables résultats par la moindre dispersion des efforts. Nous devons montrer amicalement à tous ceux qui ont des problèmes électriques à résoudre l'intérêt qu'ils ont, non pas seulement à nous consulter, mais à se joindre à nous pour rechercher la bonne solution. Cette solution, nous sommes beaucoup à le penser, se condenserait généralement dans cette formule : la Société française des Electriciens procède à l'étude ou la dirige, laissant aux autres organismes le soin de la codification.

Lorsque l'on voit la quantité de travaux traités dans nos diverses réunions, en séances générales mensuelles ou de sections, dans la semaine de discussions, on est immédiatement convaincu que le nombre de sujets intéressants et de problèmes utiles à résoudre ne va pas en diminuant, bien au contraire, même dans les voies depuis longtemps battues. En 1908, notre Président Boucherot rappelait ici la boutade de Maurice Leblanc assurant qu'il n'y a plus rien à faire avec la loi de l'induction, toutes les recherches devant se porter dans les directions nouvelles, comme la conduction des gaz et l'électronique. Il s'agit évidemment de s'entendre : on ne trouvera vraisemblablement pas, pour prendre comme exemple un sujet cher à Leblanc, un moyen de répartir convenablement l'énergie dans toutes les habitations au moyen d'ondes émises captées — problème résolu aujourd'hui pour les communications où le rendement n'intervient pas — en appliquant les lois

d'Ohm et de l'induction comme le fait un calculateur de dynamos. Boucherot nous disait, il y a plus de vingt ans, et c'est encore vrai, que ces vieux principes si retournés, n'ont jamais dit leur dernier mot. Les progrès les plus sérieux depuis vingt ans dans la grosse industrie électrique sont à peu près tous basés sur eux, sauf quelques exceptions comme des appareils d'éclairage, comme les redresseurs à vapeur de mercure; l'oscillographe cathodique pénètre aussi dans le champ des grandes applications.

Il est même curieux de voir combien de problèmes fort élémentaires reçoivent encore des solutions lorsque de nouveaux besoins se manifestent. Ainsi, l'enroulement en quantité des induits de machines à courant continu multipolaires, représente assurément une question bien connue, semblant depuis longtemps épuisée; l'augmentation de la vitesse et de la puissance, a montré récemment l'intérêt d'un dédoublement des spires en plaçant les deux moitiés en parallèle dans des encoches voisines. La mise au point des commutatrices à la fréquence 50 p/s est récente, probablement pas encore tout à fait terminée. La construction des alternateurs de plus en plus puissants, au delà de 100 000 kVA, est devenue possible; la marche des grosses unités a pris beaucoup plus de sécurité, grâce à un ensemble de perfectionnements patiemment accumulés dont notre pays, peut revendiquer une bonne part. Le refroidissement de ces énormes machines demande la résolution de problèmes difficiles; nous voyons apparaître les machines fonctionnant dans une atmosphère d'hydrogène. Je pense qu'il faudra peut-être aller plus loin et recourir à des liquides de vapeur condensables aisément.

Ne voyons-nous pas, dans un autre ordre d'idées, que les progrès de la soudure autogène, de la soudure électrique en particulier, amènent une nouvelle conception de la construction des machines de toutes grandeurs, en remplaçant les pièces de fonte par des assemblages de fers profilés?

La vieille question des méthodes pour la détermination convenable des rendements, doit encore être reprise. Tout cela ne représente encore qu'une faible fraction des travaux dévolus à notre première section.

Dans le domaine de notre deuxième section qui s'occupe de l'éclairage, les électriciens, et tout particulièrement notre président d'honneur M. Blondel, commencent à faire pénétrer leur précision coutumière dans les questions d'unités et de mesures. Afin que ces problèmes, qui sortent plutôt des strictes limites de la technique électrique, fussent convenablement résolus, les électriciens, ont dû intervenir et apporter la clarté, oserons-nous dire.

La construction des lampes, dont la puissance comme le rendement augmentent sans cesse, est en progrès continu. Je rappellerai qu'ici même, il y a deux ans, notre président M. Fabry nous montrait que le rendement de nos sources lumineuses est encore bien faible par rapport à ce qu'il pourrait théoriquement être.

Notre troisième section, d'électrochimie et d'électrometallurgie, voit incessamment se poser de nouveaux problèmes. Cette section est vraiment trop délaissée par les techniciens et surtout par les industriels qui pourraient y apporter comme y puiser bien des renseignements. Au cours de ces dernières années, la section s'est occupée notamment, à plusieurs reprises des progrès des grands fours, dont la puissance atteint 5 000, 10 000 kilowatts et même au delà. Ces appareils, particulièrement ceux qui produisent le carbure de calcium, transformé en grande partie en cyanamide calcique, engrais fort employé, semblaient réservés aux régions de chute d'eau; on admettait souvent qu'un four étant en marche, il fallait le laisser fonctionner bien tranquillement à charge constante. Les progrès réalisés permettent maintenant de travailler avec des fours à allure très discontinue, leur production restant convenable. Aussi, par un déplacement du champ des applications que rien ne faisait prévoir il y a peu d'années, commence-t-on à installer ces fours à proximité de stations centrales de régions minières, où ils absorberont la puissance variable disponible et inutilisée au cours d'une journée.

Les modifications des prix survenues dans ces dernières années, au point de vue absolu comme au point de vue relatif, amènent aussi à transformer certaines industries, comme l'aciérie qui emploie de plus en plus des fours électriques alimentés par l'énergie électrique, tirée de la combustion du charbon. De tels fours, assez puissants, sont installés dans la banlieue parisienne et leur nombre va s'accroître; le four à induction aura des emplois tout indiqués. Il amène la nécessité de résoudre les problèmes électriques les plus divers, non seulement pour lui-même, mais encore pour les appareils qui forcément l'accompagnent comme des alternateurs de fréquence de l'ordre de 1 000 p : s, des condensateurs en batteries importantes; c'est ainsi que nous voyions récemment construire une batterie de milliers de kVA de puissance réactive à la fréquence 1 000 p : s. Une autre application actuellement en cours d'exécution est la construction de transformateurs importants de ces mêmes fréquences moyennement élevées dans des conditions difficiles, non envisagées jusqu'ici, comme 1 500 kVA à 50 V et 30 000 A, ne pesant pas plus de 600 kg, avec un rendement de 0,99, à la fréquence 1 000 p : s.

L'électrolyse humide avance aussi : nous avons eu, entre autres, des communications intéressantes sur l'obtention du zinc depuis des minerais pauvres difficilement utilisables autrefois, du cadmium comme sous-produit. Les métaux sont recouverts électrolytiquement non plus seulement de nickel, mais de chrome, de cobalt.

Des redresseurs de courant alternatif intéressants apparaissent, certains réservés jusqu'ici aux petites applications, comme ceux qui utilisent les contacts de métaux et oxydes; ils font actuellement l'objet de discussions dans les réunions de la section. Les piles, les accumulateurs sont des sujets qui doivent être repris de temps en temps; il a été montré récemment dans nos réunions que la théorie des accumulateurs n'est pas complètement fixée; les explications classiques ont des adversaires, et des points de vue fort différents se sont manifestés.

Le champ ouvert à la quatrième section peut l'occuper encore longtemps avec les questions de traction et de distribution en cours. Vous avez vu que la récupération est une question à l'ordre du jour sur laquelle nous aurons encore de nombreuses heures de discussions. Les lignes et les canalisations, les raccordements de réseaux, les protections contre les surintensités et les surtensions sont encore des sujets, non seulement loin d'être épuisés, mais s'amplifiant plus vite que n'arrivent les solutions.

Parmi d'innombrables sujets, les problèmes qui touchent au disjoncteur à huile, à la meilleure forme de cet appareil sont encore loin d'être complètement résolus. Nous avons pu récemment constater dans les communications qui nous sont exposées des points de vue fort différents, sur lesquels des théoriciens comme des expérimentateurs habiles et inspirant toute confiance, sont loin d'être d'accord. Il y aura là matière à des expériences nombreuses, rendues extrêmement coûteuses par la grandeur de la puissance à mettre en jeu; des laboratoires privés, dont nous avons pu récemment admirer le premier qui existe en France, apparaîtront. On envisage aussi le rattachement à notre Laboratoire Central d'une importante installation où constructeurs et exploitants verraient s'effectuer les essais jugés nécessaires aux deux points de vue. Espérons que nous aboutirons à la réalisation de cette intéressante idée, malgré son prix.

Je me permets, pendant que nous parlons des interrupteurs à huile, d'ouvrir une parenthèse afin de réparer ce que j'estime une injustice dont j'ai été témoin à diverses reprises, et ici-même récemment. On place un interrupteur dans un liquide isolant, comme l'huile, afin d'assurer la rupture de l'arc et de ménager les contacts; on attribue l'idée à différents techniciens, non Français naturellement, ceci ayant

eu lieu vers 1900. Or, vers 1850, les expérimentateurs n'avaient à leur disposition que des piles comme générateurs; il ne faut d'ailleurs pas trop les mépriser, car elles comportaient parfois des milliers d'éléments de grandes dimensions dans lesquels on versait de nombreuses touries de divers acides. On obtenait ainsi des tensions de milliers de volts ou des courants fort intenses selon les couplages. D'autre part, ces électriciens aimaient déjà enrouler des spires, souvent fort nombreuses sous forme de solénoïdes, avec des noyaux de fils de fer. Les essais des modèles définitifs de la bobine de Ruhmkorff, exécutés à Paris, représentaient fort bien ces données. L'interrupteur coupant le courant primaire constitua tout de suite une difficulté sérieuse. On a affaire à un courant variable qu'il faut couper, pour avoir la surtension maximum au secondaire laquelle existe également sur le primaire, lorsque ce courant passe par son maximum. Aucun interrupteur ne tenait. Fizeau eut l'idée de placer un condensateur en dérivation sur la rupture, mais cela ne suffisait pas encore. C'est alors que Foucault proposa de faire la rupture dans un liquide isolant afin, ceci ressort nettement des publications, de faire cesser l'étincelle de rupture et de ménager les contacts. Foucault n'employa évidemment pas l'huile minérale, à peu près inconnue à son époque; il s'arrêta aux liquides en sa possession et choisit de préférence l'alcool. La réalisation de l'interrupteur à huile n'a été que la reprise de l'idée de Foucault à 40 ou 50 ans de distance, en employant un liquide, apparu dans l'intervalle, et déjà dans la main de tous les électriciens, à cause des transformateurs.

La 5^e section, celle qui traite de télégraphie et de téléphonie, des radio-communication, a aussi bien des sujets d'étude au moment de la réfection presque générale de nos bureaux et réseaux, du remplacement des fils aériens par des câbles. La transmission des images a fait et fera encore l'objet de communications pleines d'intérêt et dont la réalisation pratique frappe tout le monde.

Une question qui intéresserait cette section tout en demandant la collaboration de certaines autres, comme la première et la sixième, et surtout la quatrième, serait la réunion des opinions de nos membres à propos de l'influence des lignes de transport d'énergie sur les lignes de transport de messages. Comme toujours, la diversité des occupations, des tournures d'esprit, jointe à l'indépendance de nos collègues, ne pourrait être que favorable à la fixation définitive de règles indispensables, ayant d'ailleurs comme point de départ sérieux la clarté des études, ouvrant la voie dans ce sujet d'apparence inextricable, dues à notre Président Brylinski.

Les réunions de la 6^e section seront encore alimentées par de nombreuses causeries sur les appareils de mesure, les relais, tous instruments auxquels on demande une précision de plus en plus grande, qui ont à résoudre des problèmes de tous ordres apparaissant parallèlement aux productions dont s'occupent nos autres sections. Les condensateurs dont l'importance industrielle tend à se manifester vont devenir un sujet d'études méritant considération.

Quant aux questions purement théoriques, de nouvelles apparaissent sans cesse. Mais n'est-il pas aussi besoin de revenir de temps en temps sur des travaux anciens que les praticiens tendent, par un mouvement presque insensible, à perdre de vue; ne convient-il pas de reprendre beaucoup de vieux sujets, jamais épuisés, dont on finit parfois par tirer des ressources inespérées? De nouvelles conceptions d'ordre purement mathématique sont aussi à examiner; sans en faire spécialement le but de leurs travaux, beaucoup d'entre nous aiment à savoir, ne serait-ce qu'en aperçu, ce qu'on peut tirer de tout nouvel outillage, aussi bien dans les nobles travaux de l'intelligence, que dans les prosaïques travaux de l'atelier.

Je n'espère pas, mes chers collègues, que tous ces problèmes cités un peu au hasard au milieu d'une multitude, puissent être résolus, abordés même, cette année. Je suis sûr que tous ceux d'entre vous qui le pourront contribueront à leur solution, que les discussions de nos sections se poursuivront avec activité amenant à notre Société, à son bulletin, à nos communications et à nos discussions, un intérêt toujours croissant.

L'ordre du jour appelle les communications techniques :

M. KRIEGER fait une communication sur les résultats obtenus au Laboratoire Alsthom *par la comparaison des spintermètres du type U. S. E. à sphères et du type G. E. C^o à disques* pour la mesure de la rigidité diélectrique des huiles de transformateurs.

Après avoir rappelé que cette mesure permet d'apprécier l'importance des impuretés contenues dans l'huile, il décrit les deux types d'appareils, puis il expose une ingénieuse méthode qui a permis à M. Perrin, l'auteur des essais, de tracer des courbes moyennes de concordance entre les 2 appareils, indépendantes des écarts accidentels.

Il présente les tableaux des essais et les diagrammes des points relevés suivant que les huiles essayées sont filtrées ou brutes, neuves ou usagées et il conclut que le spintermètre à disques est, de par sa cons-

truction même, plus sensible aux impuretés que le spintermètre à sphères.

Il ajoute que des expérimentateurs anglais ont abouti à des conclusions inverses, mais ils n'ont pas indiqué les cotes caractéristiques de leurs appareils.

On peut conclure qu'un spintermètre ne doit pas être trop sensible, sinon la moindre impureté contenue dans l'huile abaisse la tension de rupture; s'il est, au contraire, trop peu sensible, comme c'est le cas du spintermètre à sphères, il devient insuffisant.

Il faut donc réaliser un spintermètre de sensibilité moyenne.

M. le Président remercie M. KRIEGER d'avoir présenté à la Société les résultats d'une étude expérimentale difficile; les conclusions auxquelles il arrive indiquant d'ailleurs que cette étude n'est pas encore terminée et qu'elle nécessite des recherches complémentaires.

M. DUPOUY présente une communication sur « un appareil nouveau pour la mesure du champ magnétique « le gaussmètre » ».

En réponse à une question de M. FABRY sur les ressources naturelles en sidérose, M. DUPOUY indique qu'il en existe une montagne entière auprès d'Allevard. En choisissant les échantillons, il faut naturellement éviter ceux qui contiennent des mâcles.

Il répond à une question de M. SAGET, à propos de l'adaptation de l'appareil aux champs alternatifs, que le gaussmètre permet de relever des oscillogrammes; des résultats obtenus dans ce domaine pourront être présentés prochainement à la Société.

M. FABRY remarque que ces oscillogrammes donnent la courbe du carré du champ magnétique.

M DUPOUY ajoute qu'il est arrivé à réduire à 1 mm la largeur du cristal : si la longueur pouvait être augmentée, sous la seule condition que le volume minimum de 10 mm³ soit conservé, la largeur pourrait être encore diminuée.

M. le Président, en remerciant M. DUPOUY, rappelle que, lors de la visite faite à l'électro-aimant Cotton, en octobre 1928, tout le monde a été frappé par la réalisation du gaussmètre, qui permet la lecture directe des champs magnétiques.

La Séance est levée à 19 heures.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

L'OZONE ET SES APPLICATIONS ⁽¹⁾

par M.-P. OTTO.

Constitution chimique de l'ozone. — Comment on produit industriellement l'ozone : production par kWh ; influence de la fréquence des courants. — Comment on dose l'ozone — Applications de l'ozone : chimie organique ; blanchiment du coton, du lin ; vieillissement artificiel du bois ; traitement des eaux potables, principales installations en France et à l'étranger, coût de la stérilisation, courant fourni par usine thermique, par usine hydraulique. — Chlore et ozone. — Conclusions.

I. — CONSTITUTION CHIMIQUE DE L'OZONE.

L'ozone a été découvert il y a bien des années. On en a d'abord soupçonné l'existence en recherchant quelle était la cause première de l'odeur qui se dégage lorsque des décharges électriques jaillissent dans l'air, soit que ces décharges proviennent de plateaux de machines électrostatiques dans le genre de celles de Wimshurst, soit qu'elles soient provoquées par des bobines d'induction genre Ruhmkorff ou des transformateurs à haute tension.

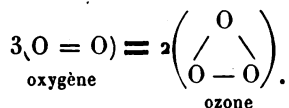
Ce qui a été la cause principale des difficultés que l'on a éprouvées pour établir sa formule et définir sa composition, c'est que l'ozone est, par sa nature même, presque insaisissable. On ne le connaît pas à l'état de pureté absolue, sauf quand il est à l'état liquide, mais alors il est très dangereux à manier. C'est un explosif redoutable.

A l'état naturel, l'ozone est toujours dilué dans un très grand excès d'oxygène. Lorsqu'on le produit industriellement, un mètre cube d'air n'en contient guère que quelques grammes.

Ce n'est qu'à la suite de longues et patientes recherches qu'on est parvenu à établir sa constitution chimique exacte. Une molécule d'oxygène occupant deux volumes contient deux atomes d'oxygène.

(1) Communication présentée à la Séance mensuelle de la Société Française des Electriciens du 1^{er} Décembre 1928.

Une molécule d'ozone occupant deux volumes contient trois atomes d'oxygène.



Considérons trois éprouvettes ABC placées dans les mêmes condi-

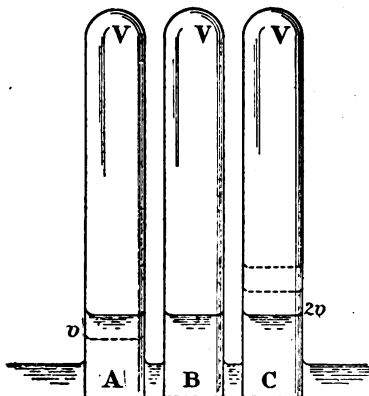


Fig. 1. — Action de la chaleur, de l'iodure de potassium et de l'essence de térébenthine sur l'ozone.

tions de température et de pression et contenant chacune un égal volume V d'oxygène ozoné, de même provenance (fig. 1).

Décomposons par la chaleur l'ozone contenu dans l'éprouvette A et ramenons la masse gazeuse dans les conditions initiales de température et de pression. Nous constatons une augmentation de volume v .

Introduisons dans l'éprouvette B une solution acidulée d'iodure de potassium, le volume V ne change pas. Cependant, l'ozone est détruit, l'iodure est décomposé et l'iode mis en liberté.

Si l'on dose avec soin cet iode, on constate que son poids correspond au poids du volume d'oxygène v dont s'est trouvé augmenté le volume V dans l'expérience précédente.

Enfin, faisons réagir sur l'ozone contenu dans l'éprouvette C un corps capable de l'absorber entièrement, comme l'essence de térébenthine. Nous constaterons une diminution de volume $2v$ ⁽¹⁾.

D'autre part, la formation de l'ozone est toujours accompagnée d'une diminution de volume de l'oxygène qui sert à l'obtenir.

(1) Voir *Recherches sur l'ozone* M.-P. OTTO, Thèses de la Faculté des Sciences de Paris, page 39.

L'hypothèse la plus logique pour expliquer cet ensemble de faits, consiste à admettre que l'ozone est une modification allotropique de l'oxygène.

Si la molécule d'oxygène occupant deux volumes est formée de deux atomes, la molécule d'ozone occupant également deux volumes renferme trois atomes d'oxygène.

Le physicien Soret vérifia le premier expérimentalement cette hypothèse en comparant les vitesses de diffusion de l'ozone, du chlore et de l'acide carbonique.

J'ai pu moi-même établir expérimentalement que la densité de l'ozone est une fois et demie celle de l'oxygène, soit 1,6584. La méthode que j'ai utilisée consiste à mesurer :

1° D'une part, l'augmentation de poids que subit un volume déterminé d'oxygène quand on y remplace un certain nombre de molécules de ce gaz par le même nombre de molécules d'ozone.

2° D'autre part, le volume exact occupé par l'ozone. J'ai ainsi pu déterminer la densité de ce dernier et, par suite, établir sa formule sans faire, *à priori*, aucune hypothèse sur sa constitution.

II. — COMMENT PEUT-ON PRODUIRE INDUSTRIELLEMENT L'OZONE.

L'oxydation lente du phosphore dans une atmosphère humide a été longtemps l'unique procédé de préparation qu'ont employé les savants qui ont fait des recherches sur l'ozone. Sont venus ensuite les procédés chimiques. Le principal est basé sur la décomposition par l'acide sulfurique mono-hydraté, du bioxyde de baryum.

Les quantités d'ozone produites sont beaucoup trop faibles pour qu'on puisse songer à les utiliser industriellement.

L'électrolyse de l'eau acidulée fournit des quantités appréciables d'ozone.

L'ozone serait sans doute resté une curiosité de laboratoire si la méthode basée sur l'action des décharges électriques sur l'oxygène pur ou sur l'air, n'avait pas été découverte et mise au point industriellement.

Dans les laboratoires, quand on veut produire de faibles quantités d'ozone, on emploie, soit l'appareil de Houzeau, soit celui de Berthelot, soit enfin celui que j'ai construit moi-même et utilisé pour mes recherches sur la densité de l'ozone.

Les premières applications industrielles de l'ozone ont été réalisées avec les appareils que j'ai étudiés et établis en 1890. Ces appareils

ont été notablement perfectionnés au cours de ces dernières années. La caractéristique de la méthode est restée la même : action des effluves sur l'oxygène de l'air ou sur l'oxygène pur.

Pour obtenir ces effluves, on peut mettre en présence (voir fig. 2) :

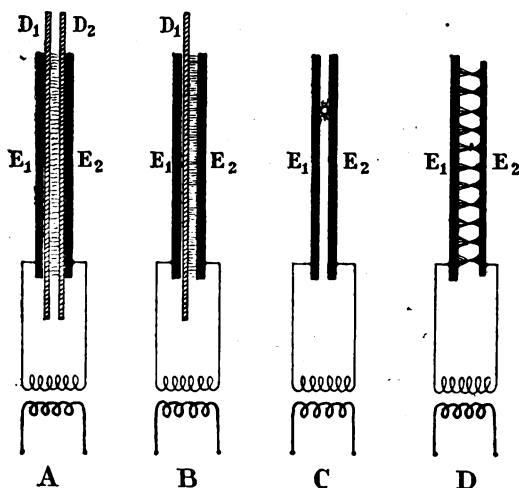


Fig. 2. — Production des effluves.

a) Soit deux conducteurs métalliques E_1 et E_2 , séparés par deux diélectriques D_1 et D_2 (dispositif A),

b) Soit deux conducteurs métalliques E_1 et E_2 séparés par un seul diélectrique D_1 (dispositif B),

c) Soit deux conducteurs métalliques E_1 et E_2 sans interposition d'aucun diélectrique (dispositif C et dispositif D).

Dans ce dernier cas, il est indispensable, pour qu'il y ait production d'effluves, qu'on utilise le pouvoir des pointes ou des lames à bords tranchants, en mettant face à face, par exemple, une lame métallique E_1 (Voir dispositif D) et une autre lame E_2 munie de pointes.

De ces pointes s'échappent de beaux effluves lorsqu'une différence de potentiel suffisante existe entre les deux électrodes E_1 et E_2 .

Si l'autre électrode n'est pas munie de pointes (Voir dispositif C), il y a production d'une sorte d'éclair en boule qui court entre les deux lames avec un sifflement particulier.

On croirait se trouver en présence d'un phénomène de caléfaction analogue à celui qui se produit lorsqu'on jette une goutte d'eau sur une plaque portée au rouge.

Dans les ozoneurs sans diélectriques (fig. 3), on peut remédier à la formation des arcs en employant des appareils à électrodes mobiles, ces électrodes étant formées par des disques à bords tranchants portant un secteur évidé.

Ces disques tournent à l'intérieur d'un cylindre muni lui-même d'un large évidement à sa partie inférieure. On obtient ainsi de très beaux effluves.

L'effluve jaillit entre la partie interne du cylindre A et les électrodes

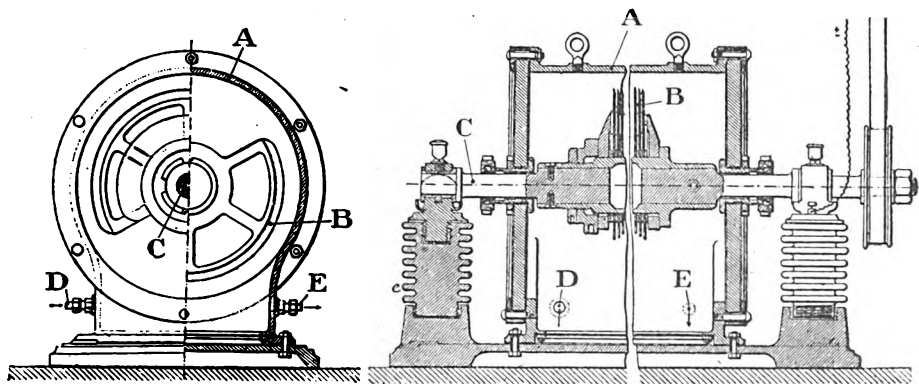


Fig. 3. — Coupes d'un ozoneur à électrodes mobiles sans diélectrique.

à bords tranchants B montées sur un axe C. Le cylindre est fermé par une lame de tôle.

L'air ou l'oxygène employé, entre par l'orifice D et sort par l'orifice E.

L'ozoneur porte latéralement deux plateaux en verre qui permettent de voir les effluves. L'arbre est supporté par deux blocs isolants, en verre moulé et il est entraîné par une courroie qui est fixée sur une poulie en matière isolante.

Ozoneur à très haute fréquence.

On peut construire des ozoneurs à très haute fréquence en utilisant, soit du courant produit par des appareils de Tesla, soit du courant produit par un transformateur, genre Oudin. L'ozoneur est constitué par un simple fil conducteur isolé, disposé suivant l'axe d'un cylindre métallique.

Si on porte le fil et le cylindre métallique à des tensions différentes suffisamment élevées, le fil s'entoure d'une belle auréole bleue violacée.

et il y a production d'ozone. Mais les quantités d'énergie mise en jeu sont très faibles et la production d'ozone est peu élevée.

Ozoneur tubulaire.

D'une manière générale, on fait jaillir les effluves électriques entre deux surfaces planes parallèles. On peut également utiliser des cy-

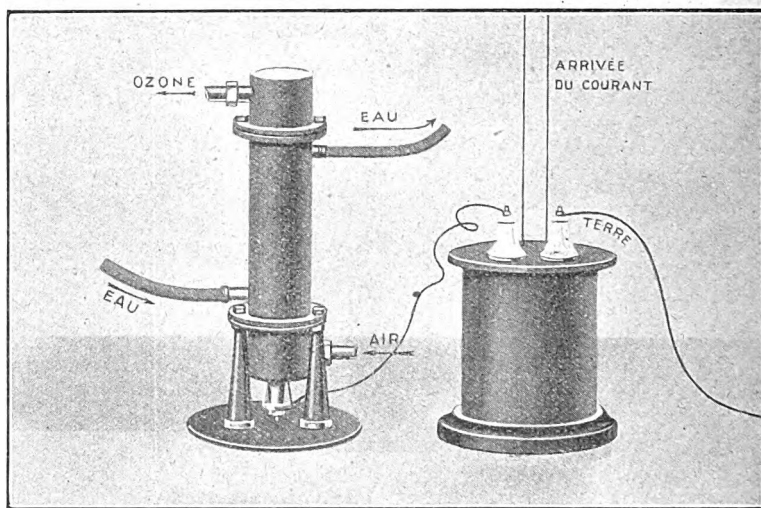


Fig. 4. — Ozoneur tubulaire.

lindres concentriques bien que le parallélisme entre deux surfaces de cette nature soit plus difficile à réaliser.

La figure 4 représente un ozoneur tubulaire à un élément avec son transformateur.

Ce générateur d'ozone est surtout destiné aux laboratoires.

Il est essentiellement constitué par une électrode centrale métallique, disposée à l'intérieur d'un tube cylindrique en verre refroidi extérieurement par un courant d'eau.

L'électrode centrale se fait également en verre argenté intérieurement ou extérieurement. L'ozoneur fonctionne donc, soit avec un diélectrique, soit avec deux.

Ozoneur industriel à deux diélectriques.

La figure 5 représente quelques éléments d'ozoneurs à deux diélectriques.

Chaque élément est composé d'un chassis métallique supportant trois plateaux creux en fonte ou en aluminium.

Les plateaux latéraux sont à basse tension.

Les plateaux haute et basse tension sont séparés respectivement par

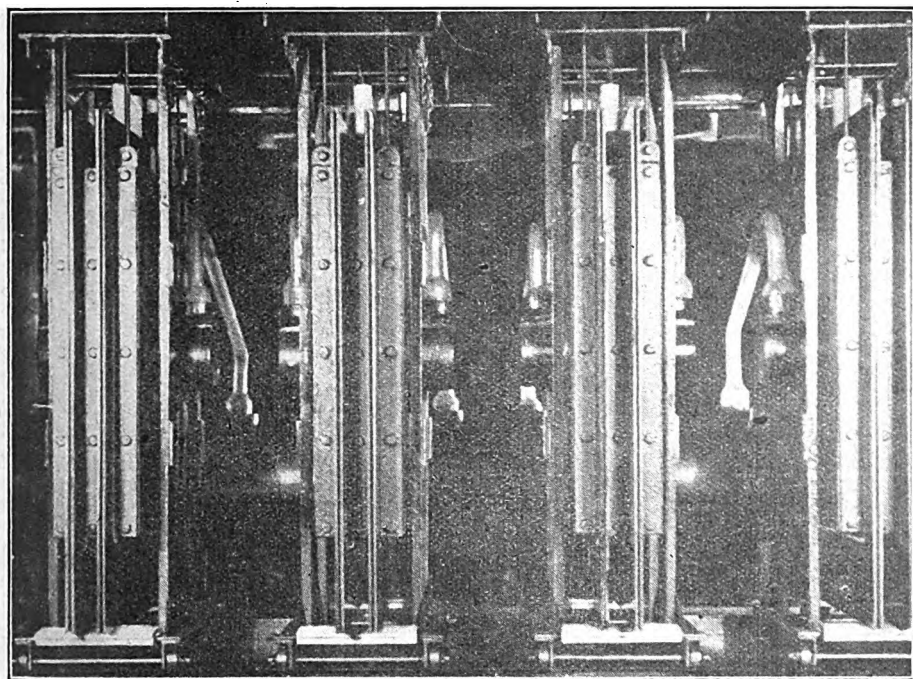


Fig. 5. — Ozoneurs industriels à éléments interchangeables.

deux diélectriques, que des cales isolantes maintiennent à un écartement régulier.

Chaque groupe de trois plateaux et deux séries de diélectriques forme un élément ozoneur. Ce sont ces éléments qui, groupés dans des cages métalliques, constituent les batteries d'appareils industriels.

Production par kilowattheure.

Une molécule d'ozone exige, pour sa formation, 14,8 cal.

Il faut donc mettre en jeu, pour donner naissance à une molécule d'ozone :

$$425 \times 14,8 = 6\,290 \text{ kgm.}$$

Un cheval-heure peut donc produire théoriquement :

$$\frac{270\,000}{6\,290} = 1\,030 \text{ g, d'ozone pur.}$$

Quels sont les rendements que l'on peut obtenir pratiquement?

Avec de l'air convenablement refroidi, les ozoneurs à deux diélectriques dépensent 17 W environ pour produire 1 g d'ozone.

Dans les mêmes conditions de température et de pression, les ozoneurs à un seul diélectrique donnent des rendements à peu près égaux au début de leur fonctionnement, mais l'électrode métallique nue, mise en contact avec l'ozone, s'oxyde très rapidement et le rendement baisse dans des conditions notables.

On peut utiliser les ozoneurs à un seul diélectrique quand il ne s'agit pas d'une application industrielle nécessitant un dégagement continu d'ozone. Mais la simplification dans la construction qui résulte de la suppression d'un diélectrique n'est pas à recommander pour des fonctionnements de longue durée.

En prenant des précautions toutes particulières, on peut construire des ozoneurs sans diélectrique. La dépense d'énergie est de 11 W environ par gramme d'ozone. Mais les ozoneurs sans diélectrique nécessitent, pour éviter la formation des arcs, l'emploi d'électrodes mobiles. Si les électrodes sont fixes, la densité d'effluve est trop faible pour obtenir un résultat industriel intéressant.

Pour éviter les inconvénients qui résultent de l'emploi de dispositifs mécaniques compliqués, mieux vaut avoir recours, dans la grande industrie (blanchiment, traitement des eaux potables, fabriques de produits chimiques) à des ozoneurs à deux diélectriques dont les organes sont rigoureusement inoxydables.

Que coûte le kilogramme d'ozone?

Ce prix est essentiellement fonction de celui du kilowattheure.

A Lyon il est possible, grâce à l'énergie provenant des forces hydrauliques, d'obtenir le kilowattheure à un prix variant entre 0 fr 12 et 0 fr 07.

Si l'on admet le prix moyen de 0 fr. 10, le kilogramme d'ozone revient donc en francs à :

$$17 \times 0,10 = 1,70.$$

Si l'on dispose d'une usine thermique, il faut compter sur un prix de revient triple du précédent, dans les conditions économiques actuelles.

Influence de la fréquence et emploi du courant à 500 p : s.

J'ai longuement étudié l'influence de la fréquence sur le fonctionnement des générateurs d'ozone. J'ai fait établir les premiers alterna-

teurs à 500 et à 1 000 p : s, j'ai déterminé expérimentalement la puissance absorbée par mes générateurs d'ozone et le poids d'ozone obtenu pour des fréquences variant entre 50 et 1 000 p:s.

Pour des raisons d'ordre pratique, j'ai adopté les alternateurs à 500 p:s. J'ai établi une loi qui peut s'énoncer comme suit :

Toutes choses égales, le rendement maximum est obtenu lorsque le mouvement vibratoire d'un ozoneur s'éteint au moment précis où l'alternateur lui communique une impulsion nouvelle.

Le poids d'ozone par kilowattheure est également fonction du degré de concentration de l'oxygène employé, de la température et du degré hygrométrique.

III. — COMMENT PEUT-ON DOSER L'OZONE ?

La méthode la plus simple est celle qui est basée sur la décomposition d'une solution d'iodure de potassium additionnée d'acide sulfurique.

On prépare une dissolution contenant 16,6 g d'iodure de potassium pour 1 l d'eau. On y ajoute, au moment de l'utiliser, 9,8 g d'acide sulfurique par litre. La dissolution est placée dans une série de 3 ou 4 flacons laveurs. On fait barboter dans ces flacons laveurs un volume déterminé d'oxygène ozoné que l'on mesure soigneusement à l'aide d'un compteur. Le réactif rougit, l'iode mis en liberté est ensuite dosé par une solution titrée d'hyposulfite de sodium.

Cette solution est établie de telle sorte que *un centimètre cube* correspond à *un milligramme d'ozone pur*. Comme on peut lire facilement sur les éprouvettes 1/10 de centimètre cube, on peut donc doser l'ozone à 1/10 de milligramme près.

Ceux que les détails de cette méthode peuvent intéresser sont priés de se reporter à mes publications sur l'ozone. Ils y trouveront, avec toutes les données nécessaires, le mode opératoire exact qu'il convient d'employer.

Je vais maintenant décrire succinctement quatre séries d'applications intéressantes de l'ozone.

Il en existe beaucoup d'autres, en particulier celles ayant trait à la désodorisation de l'air et à l'assainissement des locaux confinés, cinémas, métropolitains, usines, etc. Je dois me borner ici à citer quelques exemples, pris parmi les plus intéressants.

IV. — PREMIÈRE SÉRIE D'APPLICATIONS. — CHIMIE ORGANIQUE.

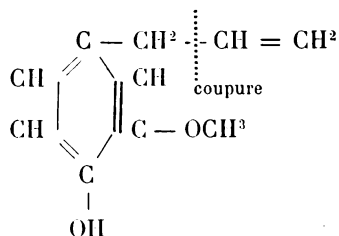
Je vais indiquer comment, à l'aide de l'ozone, on peut réaliser la synthèse de la vanilline.

Les magnifiques cristaux blancs qui recouvrent les gousses de vanille, ne sont autre que la vanilline.

La manière ligneuse qui constitue la gousse proprement dite n'est que le support des cristaux de vanilline qui concentrent en eux tout l'arome et tout le parfum.

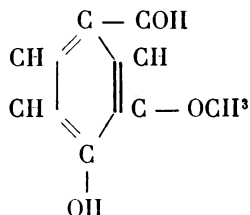
Or, non loin des lieux de culture des vanilliers, on trouve d'autres arbustes dont on peut distiller, soit les feuilles, soit les griffes, soit les clous : ce sont les giroffiers.

Ces arbustes, qui croissent en abondance dans certaines de nos colonies, à Madagascar en particulier, contiennent une essence qu'on appelle l'essence de girofle et dont la formule de constitution est la suivante :



L'examen comparé des deux formules : celle de la vanilline et celle de l'essence de girofle, montre qu'il y a entre elles des analogies frappantes.

Que, par un procédé approprié, l'on parvienne à couper le pignon d'angle de la molécule de girofle à l'endroit qui est marqué en pointillé dans la formule ci-dessus, on passera directement de l'essence de girofle à la vanilline :



Il est certain que dans la pratique, les choses ne se passent pas aussi simplement que je viens de le dire. Il faut effectuer une série de manipulations assez compliquées, mais le résultat est bien celui que symbolisent les formules.

Il y a, dans la chaîne latérale de l'essence de girofle, une double liaison peu solide, dont un courant d'ozone peut avoir facilement raison.

Que l'on fasse passer dans de l'essence de girofle de l'air ozoné, comme sous l'effet d'une baguette magique, le parfum âcre de l'essence s'évanouira petit à petit pour donner naissance à une agréable odeur de vanille.

La vanilline extraite de l'essence de girofle est rigoureusement identique à celle qui recouvre les gousses. Elle a le même point de fusion, la même composition chimique, la même structure moléculaire et les mêmes qualités organoleptiques.

La vanilline préparée à l'aide de l'ozone est un des rares produits de synthèse qui soit rigoureusement identique au produit naturel.

Dans la plupart des parfums artificiels, on obtient souvent, par synthèse, des corps dont les odeurs se rapprochent de celles des produits naturels, comme les muscs par exemple ; mais ces corps n'ont ni la même structure moléculaire, ni les mêmes qualités physiques et chimiques que les produits naturels.

A l'aide de l'ozone on peut préparer, dans le même ordre d'idées, par oxydation du safrol, de l'héliotropine qui présente une délicieuse odeur d'héliotrope.

L'oxydation de l'anéthol fournit l'aubépine qui s'efforce de concurrencer, mais sans en avoir la douceur et la suavité, le parfum délicieux des fleurs naturelles.

Dans le domaine de la chimie minérale comme dans celui de la chimie organique, de très nombreuses oxydations peuvent être réalisées à l'aide de l'ozone. Le fait que cet agent se présente sous une forme gazeuse facilement manipulable et qu'il agit sur les corps que l'on met en sa présence sans laisser de résidus, rend son emploi particulièrement avantageux dans beaucoup de cas.

V. — DEUXIÈME SÉRIE. — INDUSTRIE DU BLANCHIMENT.

Tout le monde sait que l'agent actif du blanchiment sur le pré n'est autre que l'ozone.

De graves difficultés se sont présentées lorsqu'on a voulu réaliser dans les laboratoires et mettre au point dans l'industrie des procédés basés sur l'emploi de l'ozone produit artificiellement et cherchant à reproduire aussi fidèlement que possible les phénomènes naturels.

Les méthodes de traitement envisagées varient suivant les fibres que l'on veut traiter, qu'elles soient :

végétales comme le coton, le lin, le chanvre, le jute, la ramie ;
animales comme la laine et la soie ;
ou synthétiques comme la soie artificielle.

Coton. — Sans vouloir entrer dans le détail des principales méthodes de blanchiment, nous rappellerons, que les divers textiles occupent des positions très diverses dans l'organisme végétal. Le coton, par exemple, est l'enveloppe d'une graine.

Le lin, le chanvre, le jute et la ramie sont des fibres libériennes ou corticales des tiges.

Dans l'alfa, la partie utile de la plante est constituée par les faisceaux fibro-vasculaires des feuilles.

De cette différence de situation dans les végétaux vivants résultent aussi des différences dans la composition chimique des textiles bruts.

On comprend aisément que des fibres provenant de tiges d'une certaine consistance, comme le lin, soient plus mélangées de matières ligneuses que le coton formé par des principes uniquement amylacés ou sucrés, filtrés, pour ainsi dire, par des organes d'une plus grande finesse ⁽¹⁾.

Les opérations de blanchiment du coton sont beaucoup trop longues et trop complexes pour que je les décrive ici en détail. On peut les diviser en trois séries principales :

1° Le coton est d'abord débarrassé des corps gras et des matières étrangères qui l'accompagnent.

2° Le coton une fois préparé est traité par le chlore ou par les hypochlorites qui détruisent les matières colorantes et lui donnent une belle couleur blanche.

3° Le blanchiment proprement dit terminé, on fait subir au coton plusieurs rinçages et plusieurs lavages, de manière à le débarrasser de l'excès de chlore employé.

Si les lavages qui accompagnent l'opération de blanchiment sont mal faits, ou si la dose de chlore employé a été trop forte, une partie de la fibre se transforme en oxy-cellulose et des accidents très graves sont à craindre par la suite. Non seulement la résistance de la fibre se trouve diminuée, mais encore des taches peuvent prendre naissance.

Il a été pendant longtemps très difficile de savoir à quelles causes étaient dues exactement les taches qui se produisaient.

(1) DÉPIERRE, *Dictionnaire de chimie de Wurtz*, 2^e supplément, 1^{re} partie, p. 755.

C'est en 1882, dans une usine de Déville-les-Rouen, qu'on a trouvé la clé de l'énigme.

Des pièces ayant subi toutes les opérations du blanchiment étaient revenues percées d'une infinité de petits trous coupés comme à l'emporte-pièce. Pour rechercher quelle était la cause première de ce grave accident, M. Witz étudia l'action des différents réactifs employés sur le tissu. Il constata que la soude et la chaux avaient marqué simplement leur place.

Par contre, le chlorure de chaux occasionnait des taches brunâtres qui se teignaient à froid en violet foncé et avait altéré la fibre.

Le coton, sous l'influence combinée de l'hypochlorite de calcium et de l'acide carbonique de l'air, subit une modification plus ou moins profonde. La fibre se contracte, elle prend un ton d'un blanc mat et son toucher est plus sec.

Le coton ainsi modifié n'est pas un dérivé de substitution chloré, mais bien un produit d'oxydation de la cellulose auquel on a donné le nom d'oxy-cellulose.

Le fait capital qui ressort des expériences de M. Witz est donc que, sous l'influence de certaines matières oxydantes, et en particulier de l'hypochlorite de calcium concentré, la cellulose se transforme en une matière jouissant de propriétés nouvelles qui se manifestent en pratique par un affaiblissement de la fibre et ne deviennent visibles que quand le mal est déjà irréparable.

Ce sont des accidents de cette nature qu'il est essentiel d'éviter, surtout dans la grande industrie.

Lin. — La fibre doit être séparée, non sans peine, des matières étrangères qui lui sont associées dans les tiges de la plante. Il faut d'abord faire subir aux tiges l'opération bien connue du rouissage au cours de laquelle les tiges perdent environ 25 pour cent de leur poids.

A la suite du rouissage, et après que le lin a été séché, il subit un certain nombre de manutentions purement mécaniques : broyage, teillage, espadage.

La fibre, pour être amenée au degré de blanchiment voulu, ne subit pas moins de 14 opérations successives consistant à utiliser l'action alternée de l'ozone (exposition sur le pré) et du chlore.

Je n'entrerai pas dans le détail de la constitution des autres fibres textiles et de leurs procédés de blanchiment.

Au cours de ces dernières années j'ai repris d'une manière complète l'étude de l'application possible de l'ozone comme agent de blanchi-

ment des fibres textiles en collaboration avec le Sénateur Crespi, ancien Ministre, et son fils le D^r Emile Crespi, Directeur technique des très importants établissements de Crespi sur l'Adda, près de Milan. (fig. 6).

Je ne suis pas autorisé à décrire ici les détails de la méthode que nous avons élaborée et mise au point, mais je puis donner une vue de

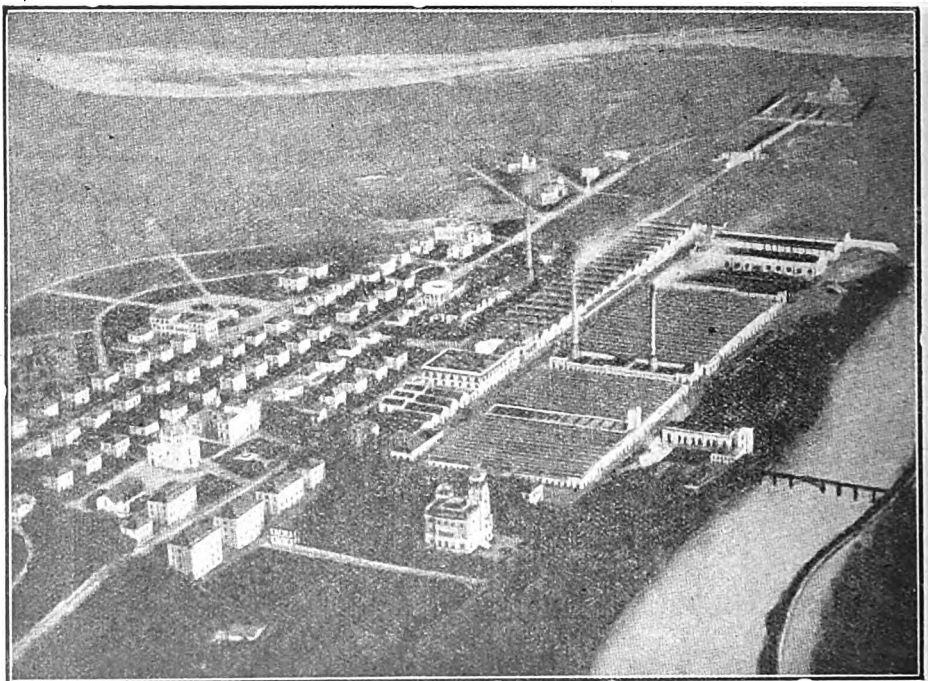


Fig. 6. — Vue d'ensemble des Etablissements CRESPI, à Crespi sur l'Adda (près de Milan) où sont actuellement utilisés les nouveaux procédés de blanchiment.

la première installation qui a été réalisée et indiquer les résultats tout à fait remarquables qui ont été obtenus.

La figure 7, prise dans la partie de l'usine où sont traités les filés, montre comment les écheveaux sont disposés sur des wagonnets avant d'entrer dans les tunnels où ils circulent méthodiquement pour subir l'action de l'ozone. A leur sortie, les matières textiles sont complètement blanchies.

D'une manière générale, on peut dire qu'avec les anciennes méthodes, la durée des opérations pouvait s'établir comme suit :

- a) Opérations précédant le blanchiment, environ 8 heures.
- b) Opérations de blanchiment proprement dit, rinçage, savonnage, etc... environ 16 heures.

Avec la nouvelle méthode, la durée du traitement se trouve considérablement réduite :

- a) Les opérations préliminaires durent environ 8 heures.
- b) Les opérations de blanchiment et de finissage, durent 90 minutes seulement.

Les nouveaux procédés présentent non seulement une économie très



Fig. 7. — Blanchiment du coton aux Etablissements Crespi.

importante de temps, mais encore une économie d'argent qui varie bien entendu suivant les cas ou suivant les matières à traiter.

Les différents tissus, coton, lin, chanvre, soie artificielle, etc... que nous traitons sont d'un blanc magnifique, sensiblement plus beau que celui qui est obtenu à l'aide des procédés de chloration.

Les avantages du nouveau système peuvent se résumer comme suit :

1° *Au point de vue technique.* — a) en ce qui concerne la fibre de coton, il n'est pas rare, avec le vieux procédé de blanchiment au chlore que, par suite d'un lavage insuffisant, des traces d'hypochlorite viennent en contact avec la solution acide au cours des traite-

ments successifs en provoquant le développement de chlore libre et la formation subséquente d'*oxy-cellulose*.

Grâce à notre nouveau procédé, l'ozone permet d'éviter complètement la formation d'*oxy-cellulose*.

b) En ce qui concerne le blanchiment des tissus pratiqué au large, selon le terme consacré, ou en corde, il est plus facile d'obtenir une parfaite uniformité du blanc.

c) En outre avec l'ozone, la qualité du blanc est beaucoup plus franche et bien supérieure à celle que l'on peut obtenir avec le blanchiment au chlore.

2° *Au point de vue économique.* — d) Puisqu'il est possible, spécialement pour les tissus, d'effectuer un travail continu, il s'ensuit que l'on peut réaliser une forte économie de main d'œuvre et arriver, avec un même appareil, à obtenir des rendements sensiblement augmentés.

e) Pour le lin, nous pouvons obtenir le même degré de blanchiment avec un moins grand nombre de lavages et, par suite, avec un amaigrissement moindre de la fibre.

f) Nous espérons pouvoir arriver à éliminer le passage classique sur le pré pour les toiles, ce qui n'a pas encore pu être obtenu avec aucun des systèmes de blanchiment connus à ce jour.

Il ne sera plus nécessaire d'immobiliser des surfaces de terrain considérables et de recourir à une main-d'œuvre très dispendieuse pour l'étendage et le relevage des tissus.

Dans des chambres à ozone convenablement établies, où l'agent d'oxydation produit artificiellement sera soigneusement dosé, on pourra reproduire fidèlement, et avec un prix de revient infiniment moindre, l'œuvre de la nature.

VI. — TROISIÈME SÉRIE. — VIEILLISSEMENT ARTIFICIEL DES BOIS.

Une des applications les plus curieuses de l'ozone est certainement celle qui consiste dans l'oxydation rapide des matières résinifiables contenues dans les bois, en vue d'obtenir leur vieillissement artificiel et de permettre leur utilisation immédiate pour des usages industriels.

Avant d'utiliser le bois, on le laisse sécher en général à l'air pendant une ou plusieurs années.

Sous l'influence de l'air et sous l'action des rayons solaires :

1° l'humidité contenue dans le bois s'évapore en partie.

2° les matières résineuses contenues dans les cellules du bois se solidifient. L'oxygène se fixe sur les carbures d'hydrogène qui constituent les résines. Ces dernières passent de l'état liquide à l'état solide.

Cette méthode a le grave inconvénient d'entraîner la constitution de stocks considérables dont la valeur atteint des centaines de mille francs ou même des millions, immobilisés pendant des années.

On a cherché à améliorer la qualité des bois verts pour leur emploi rapide à l'aide de deux méthodes basées :

la première sur le traitement par l'air chaud;

la seconde, sur le déséuage par la vapeur.

Le traitement par l'air chaud enlève l'humidité. Les résultats obtenus ne correspondent qu'à une partie seulement du phénomène naturel : la déshydratation.

La deuxième partie, l'oxydation des matières résineuses, ne s'effectue pas.

Le déséuage s'obtient en introduisant dans les cellules du bois de la vapeur qui chasse la sève. Celle-ci s'échappe sous forme d'une écume blanchâtre. Le bois déséuvé est en quelque sorte du bois lessivé à la vapeur, mais la sève et les matières résineuses une fois parties, les cellules sont vides et le bois perd de sa résistance.

Si l'on veut arriver à de bons résultats, il faut chercher à obtenir des bois dont les qualités soient analogues à celles des bois naturellement vieillis, qui sont d'une part : *déshydratés*, d'autre part, *oxydés*.

Vieillissement artificiel. — Oxydation. — Déshydratation.

En 1917, une année avant l'armistice, les stocks de bois sec obtenus à grands frais étaient épuisés. Un jour est venu où ils ont fait totalement défaut et où s'est posée d'une manière urgente et grave la question de ravitaillement en matériaux susceptibles d'être utilisés sans délai pour de nombreuses fabrications, en particulier celles des avions et des hélices d'avions.

J'étais alors, comme capitaine d'artillerie, adjoint au Directeur de la section technique de l'aéronautique militaire. J'ai eu l'idée d'établir des étuves dans lesquelles j'avais l'espoir qu'on pourrait réaliser, mais avec une rapidité beaucoup plus grande que dans la nature, l'ensemble des phénomènes qui président au vieillissement des bois, et cela grâce à l'ozone.

Il ne fallait pas songer à faire intervenir soit le vide, soit la pression, pour obliger l'ozone à pénétrer dans les cellules du bois. Les complications entraînées par cette méthode eussent été si grandes que la réalisation du procédé envisagé serait devenue pratiquement impossible.

J'ai établi, au voisinage de la gare de Lyon, dans une grande usine où se débitaient des bois et qui était desservie par une rue au nom prédestiné, la rue Gatebois, une première installation. Les résultats ont pleinement confirmé mes espérances.

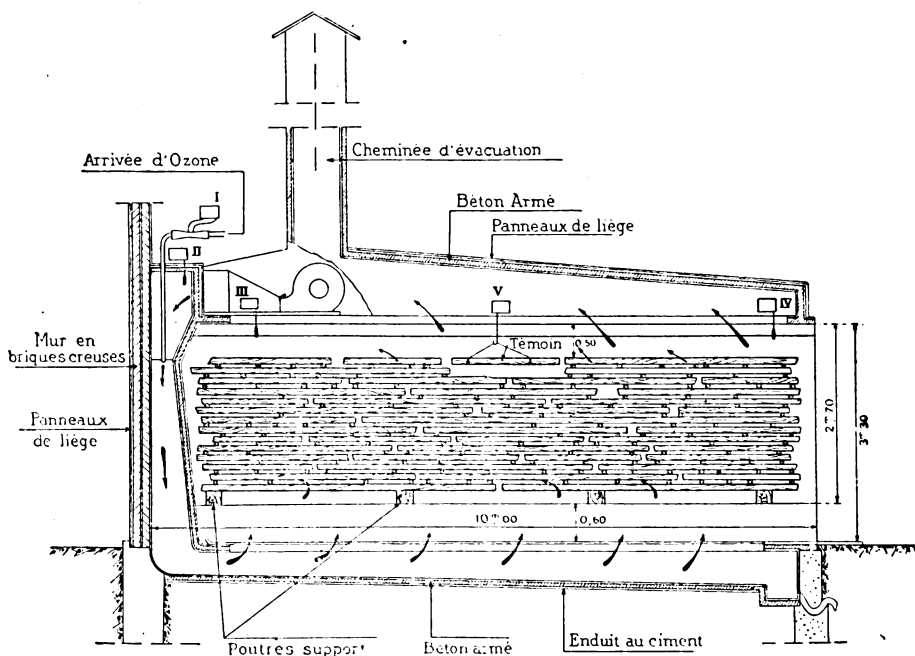


Fig. 8. — Etuve à ozone avec ses appareils de contrôle.

Au bout de quatre semaines de traitement, des plateaux de hêtre et d'orme étaient parfaitement déshydratés et oxydés.

Avant traitement, on voyait les troncs d'arbres dans la cour de l'usine, quelques-uns portant encore des branches avec des feuilles vertes. Un mois après, le bois était sec, et propre à la fabrication des hélices.

La figure 8 représente la coupe d'une étuve à ozone avec ses appareils de contrôle :

- 1° Enregistreur de débit d'air ozoné ;
- 2° Thermomètre enregistreur donnant la température de l'air à la sortie du réchauffeur ;

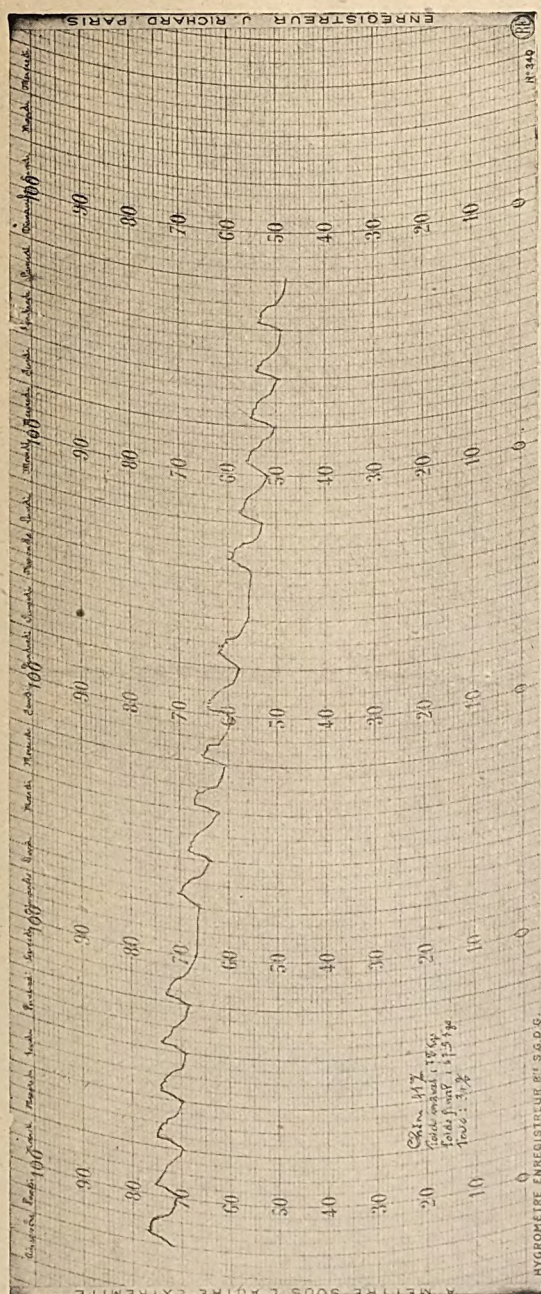


Fig. 9. — Courbe tracée par le dynamomètre enregistreur permettant de contrôler la marche d'une étuve.

3° et 4° Thermomètres enregistreurs donnant la température de l'air aux extrémités de l'étuve.

5° Enregistreur de poids permettant de contrôler d'une façon per-

manente les différences de poids provenant de l'augmentation par oxydation et de la perte par évaporation.

La courbe (fig. 9) fournie par cet appareil enregistreur est des plus curieuses à étudier.

On voit que le plateau de bois témoin suspendu au dynamomètre, qui pesait 72 kg à l'origine de l'étuvage, ne pesait, 20 jours après, que 48,5 kg environ. Il avait donc perdu 32,5 pour cent de son poids.

Les dentelures de la courbe indiquent nettement une succession d'augmentations et de diminutions de poids du plateau témoin, les diminutions l'emportant en définitive sur les augmentations.

Les phénomènes enregistrés sont complexes, mais le graphique les reproduit fidèlement.

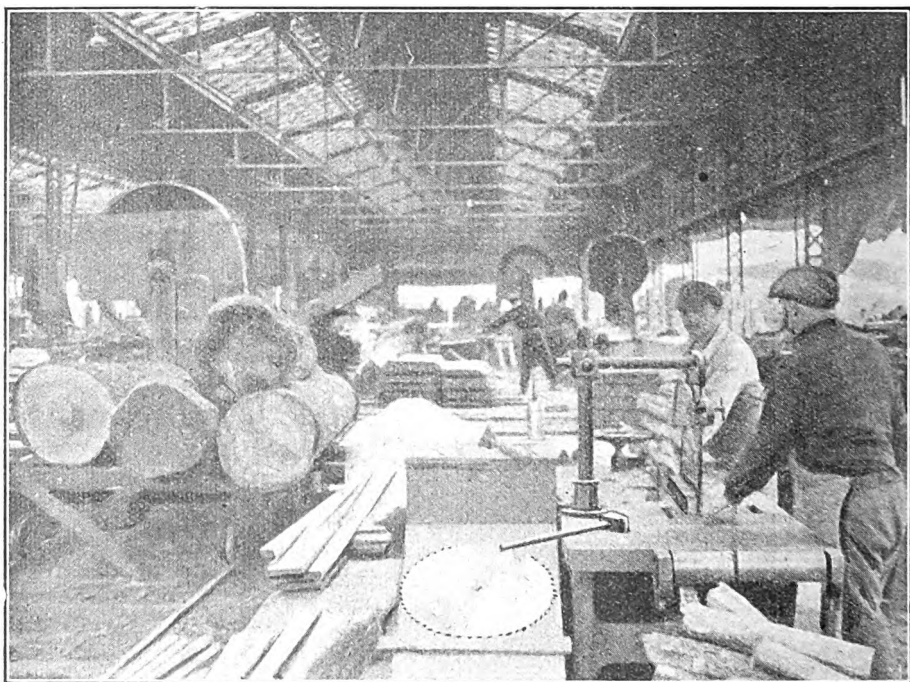


Fig. — 10. — Sciage préalable des bois.

De nombreuses installations ont été réalisées tant en France qu'à l'étranger.

La Société des Bois Secs, dont M. LAVOISIER est l'actif administrateur-délégué, a établi au Moulin-Neuf, près de Persan, sur les chantiers de la Compagnie des Chemins de fer du Nord, une installation des plus intéressantes dont nous reproduisons quelques-unes des vues les plus caractéristiques.



Fig. 11. — Epinglage des plateaux sur un chassis métallique en vue de faciliter leur manutention pour leur introduction dans les étuves.

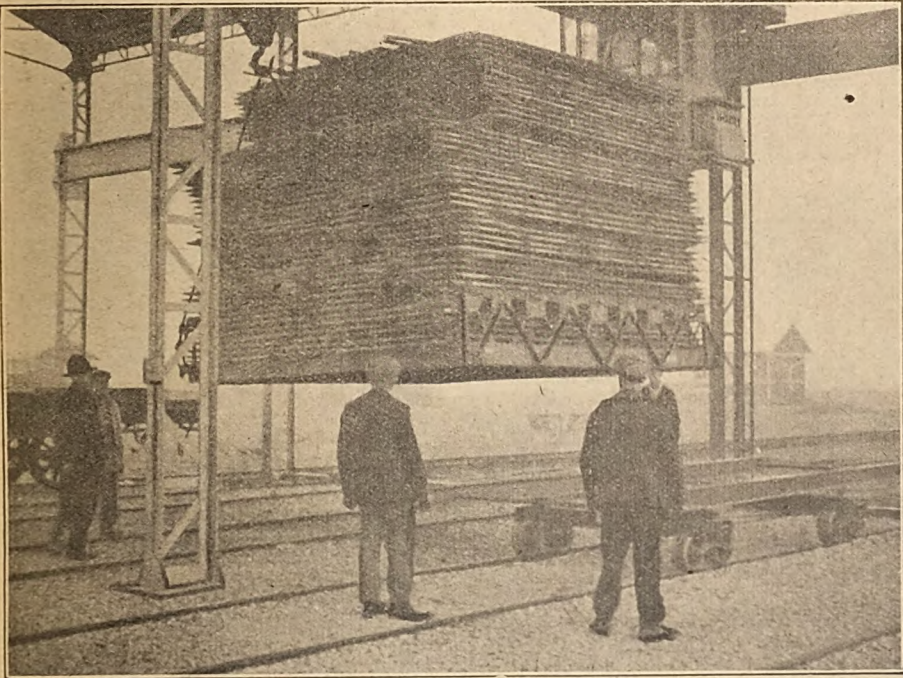


Fig. 12. — Chassis métallique garni de bois. Un appareil de levage à commande électrique prend ce chassis sur le wagon, le dépose sur un cadre à galets de roulement (à droite de la photographie).

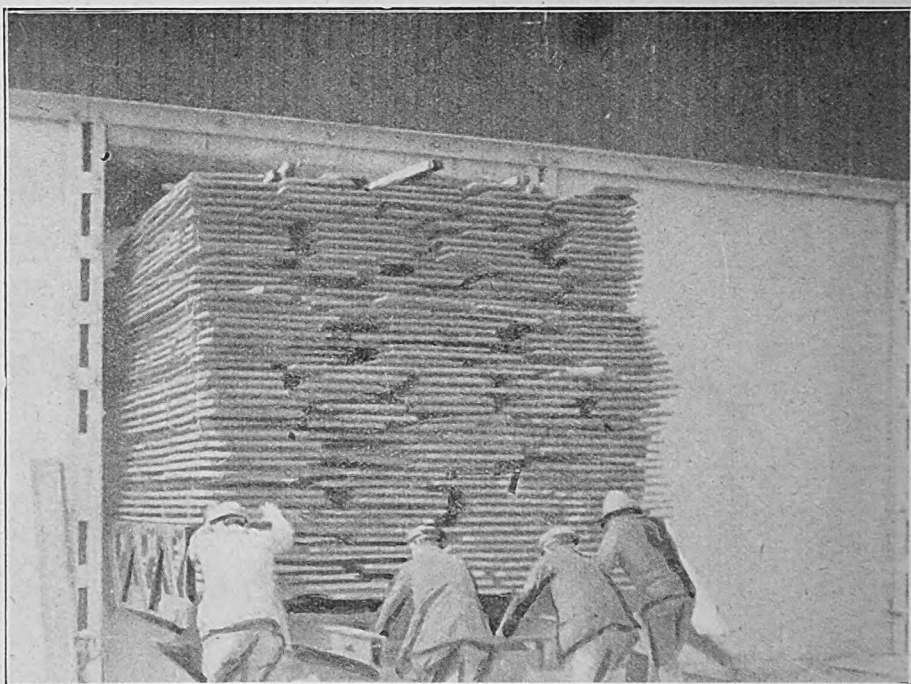


Fig. 13. — Des hommes introduisent le chargement dans les étuves en poussant directement à la main le chassis supporté par les galets de roulement.

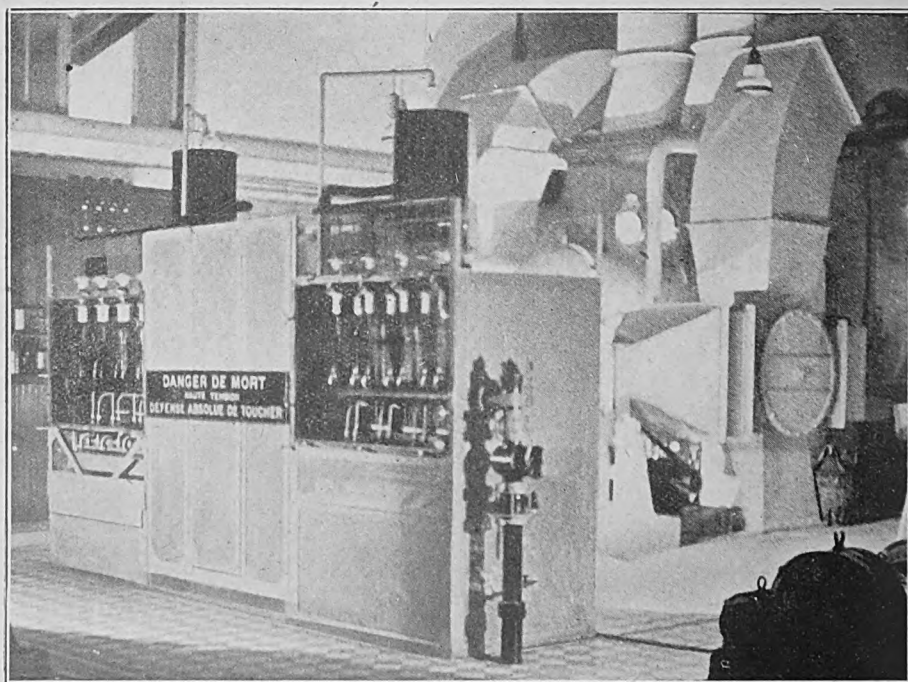


Fig. 14. — Intérieur de la salle des machines; à gauche, batterie d'ozoneurs; à droite, le ventilateur mélangeur qui assure la circulation dans les étuves de l'air chaud et de l'ozone.

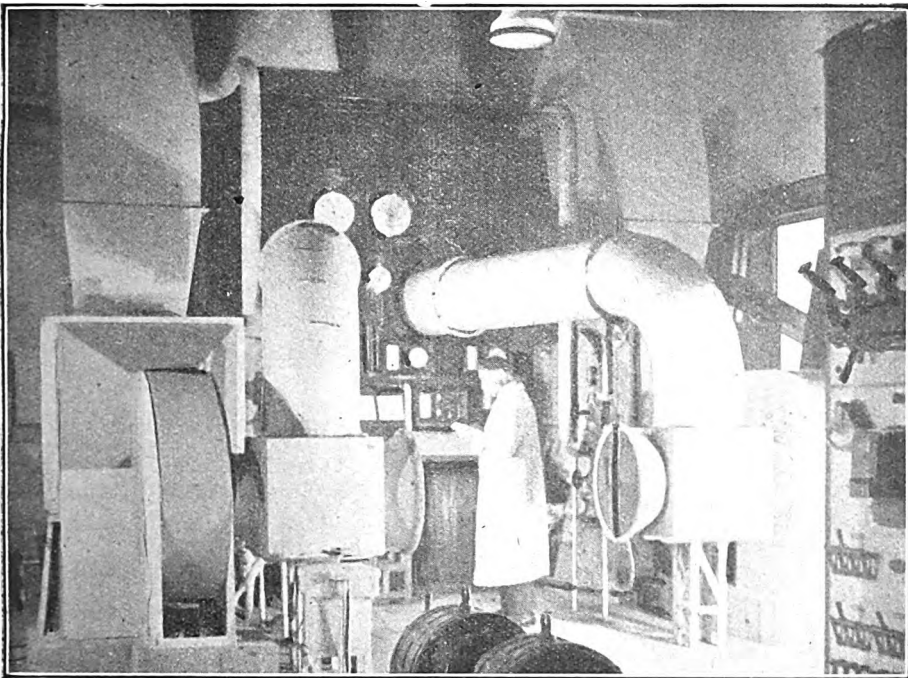


Fig. 15. — Appareils de contrôle permettant de suivre, heure par heure, le fonctionnement des étuves.

C'est la première fois, à notre connaissance, que l'on introduit dans l'industrie des bois des méthodes aussi précises, qui étaient restées jusqu'à ces temps derniers l'apanage de la métallurgie. Aussi, les résultats obtenus sont d'une constance rigoureuse et font le plus grand honneur à M. LAVOISIER et à ses collaborateurs.

VII. — QUATRIÈME SÉRIE. — TRAITEMENT DES EAUX POTABLES.

Les eaux destinées à l'alimentation publique sont presque toujours troubles et polluées. Elles contiennent en dissolution des sels nombreux qu'elles doivent conserver puisque ces sels constituent pour le corps humain un aliment de première nécessité.

Mais on y trouve en outre, des matières organiques et des germes vivants très dangereux, véhicules de toutes les maladies d'origine hydrique, qu'il faut absolument éliminer (fig. 16 et fig. 19).

Les germes que l'on rencontre le plus fréquemment dans l'eau sont

les coli-bacilles (fig. 17 et 18), qui indiquent que l'eau a été, à un moment de son parcours, contaminée par des matières fécales.



Fig. 16. — Plaque de culture ensemencée avec une goutte d'eau brute : les colonies microbiennes pullulent.

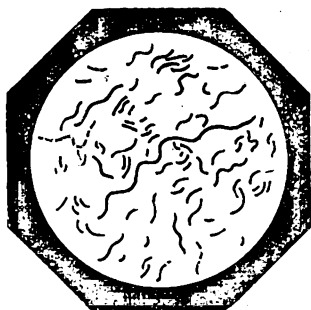


Fig. 17. — Préparation d'une culture dans le bouillon. — Méthode de coloration de Loeffler pour les cils vibratiles.



Fig. 18. — Préparation microscopique d'une culture sur gélose. — Coloration à la fuchsine phéniquée ($\times 800$).

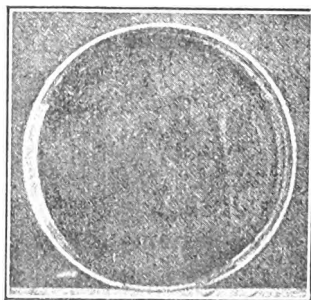


Fig. 19. — L'eau ozonée ne donne naissance à aucune colonie : elle est stérilisée.

On rencontre également dans l'eau des bacilles typhiques et des germes du choléra.

Chaque fois qu'une agglomération, grande ou petite, a besoin d'eau potable, comment doit-elle opérer pour en avoir ?

Deux cas sont à envisager, selon que l'eau à épurer est limpide ou qu'elle est trouble.

Si elle est limpide, on peut la soumettre directement à l'action de l'ozone. Si elle ne l'est pas, il faut la clarifier au préalable.

Pour stériliser électriquement l'eau claire ou clarifiée artificiellement, il faut assurer :

- a) d'une part la production d'ozone nécessaire à la stérilisation.
- b) d'autre part, sa mise en contact intime avec l'eau à stériliser.

Dans le but de faciliter la compréhension des différents phénomènes qui se produisent tant pour la production de l'ozone que pour la stérilisation proprement dite, j'ai fait établir un film qui a été projeté au cours de ma conférence et dont j'extraits ci-après quelques figures.

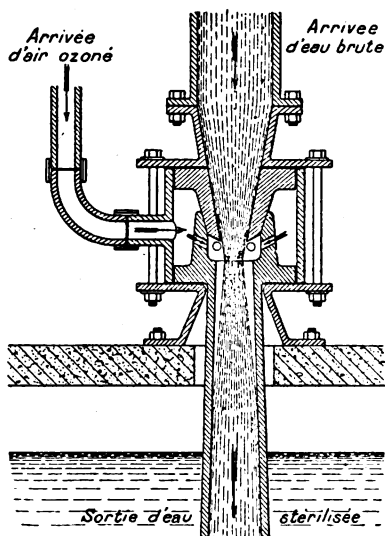


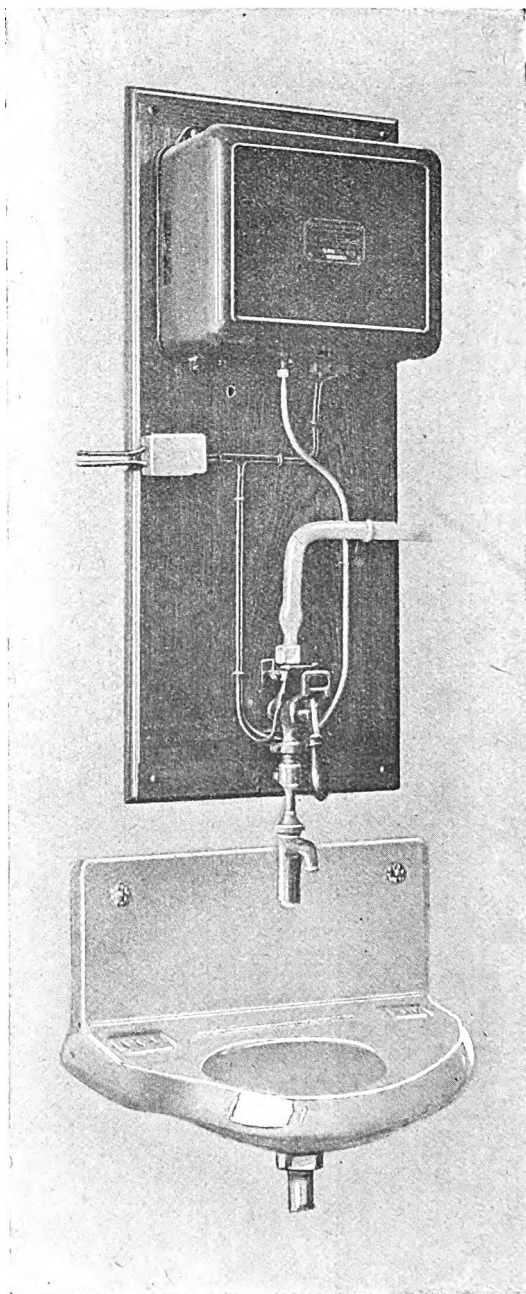
Fig. 20. — Emulseur Otto : coupe schématique.

En ce qui concerne la production de l'ozone, la méthode employée, que j'ai décrite plus haut, consiste à faire agir des décharges électriques violacées ou effluves sur l'oxygène de l'air.

La mise en contact intime de l'eau à stériliser et de l'ozone est réalisée à l'aide d'un appareil dénommé émulseur dont la fig. 20 donne une coupe schématique.

L'eau à traiter arrive par le cône supérieur et s'échappe par le cône inférieur. Entre les deux cônes se produit un vide énergétique.

L'air ozoné, arrivant par un tube latéral, est aspiré automatiquement. Il est entraîné, mélangé à l'eau sous forme d'une émulsion parfaite et l'eau sortant du cône inférieur est stérilisée.



**Fig. 21. — Stérilisateur Otto, monté sur planchette.
Appareil domestique à fonctionnement intermittent.**

Dans les appareils domestiques, on place sous le cône inférieur un petit appendice de dissolution qui est soit en métal, soit en verre.

La figure 21 représente un appareil domestique, monté sur plan-

chette et fonctionnant directement avec le courant du secteur.

Cet appareil n'absorbe qu'une cinquantaine de watts.

On peut tirer de l'eau stérilisée à plein robinet en pressant sur le

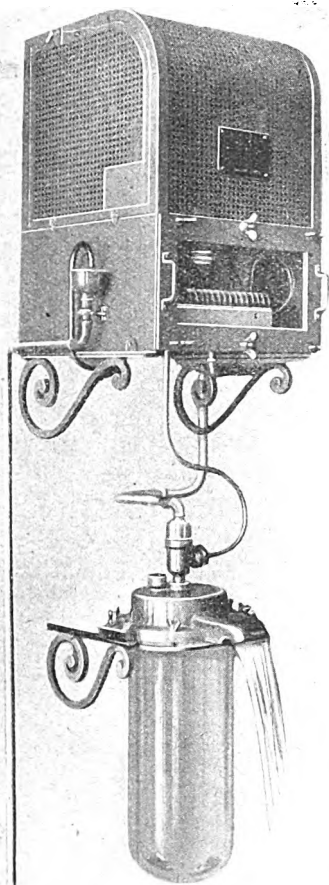


Fig. 22. — Stérilisateur Otto, à débit continu.
Appareil pour lycées, collèges, hôtels, hopitaux, navires, etc.

levier qui commande l'appareil et que l'on voit nettement sur la gravure.

La boîte qui surmonte l'appareil contient le générateur d'ozone : un tube en étain pur amène l'air ozoné à l'émulseur.

Pour traiter de plus grandes quantités d'eau, pour les lycées, collèges, hôtels, hôpitaux, navires, j'ai établi un appareil (fig. 22), dans lequel le générateur d'ozone est de plus grandes dimensions.

L'appendice de dissolution placé sous l'émulseur est constitué par un cylindre en cristal formant cloche.

Les appareils de cette catégorie peuvent débiter entre 500 et 1 000 litres à l'heure.

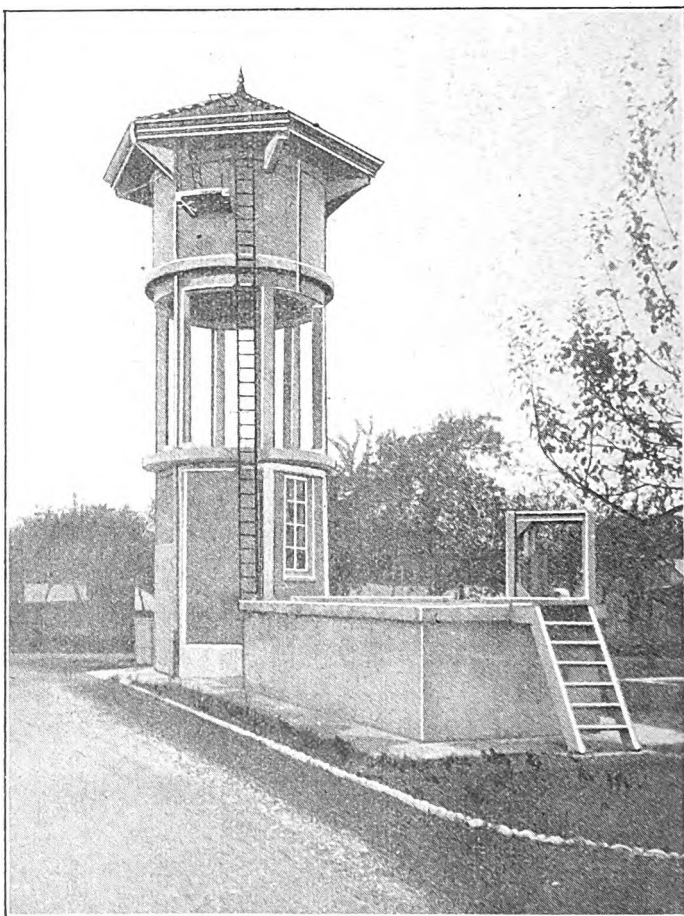


Fig. 23. — Poste de clarification et d'ozonation débitant 5.000 litres à l'heure.

La puissance absorbée par le générateur d'ozone varie entre 100 et 200 W.

La figure 23 représente une installation capable de débiter 5 000 litres à l'heure et établie par la Société Havraise d'énergie électrique à son usine de Yainville (Seine-Inférieure), pour l'alimentation en eau potable de son personnel.

L'eau puisée directement dans la Seine, passe d'abord sur un filtre

à sable à coagulation préalable où elle est débarrassée des matières qu'elle tient en suspension.

On voit le filtre à la droite de la figure.

L'eau sortant du filtre passe dans un appareil de stérilisation analogue à celui représenté par la figure 22.

Après la stérilisation, l'eau est reprise par une pompe et refoulée à la partie supérieure du château d'eau, que l'on voit à gauche de la gravure.

Des canalisations la conduisent aux lieux d'utilisation.

La puissance absorbée par l'appareil de stérilisation électrique est

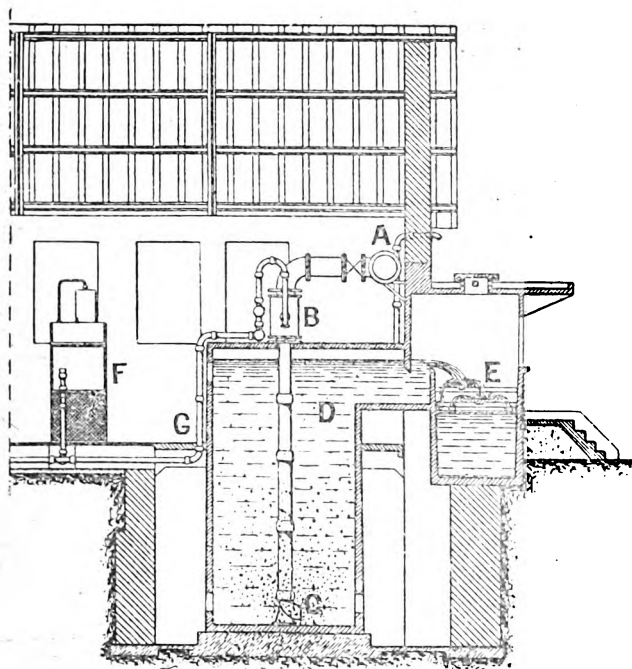


Fig. 24. — Stérilisation électrique des eaux, Emulseur et colonne de self-contact.

de 200 watts. Les pompes de circulation et de refoulement consomment 600 watts.

Comme on le voit, cette puissance est très faible. Le générateur d'ozone est cependant établi pour fournir le triple du poids d'ozone nécessaire, de manière à être sûr que, quel que soit le degré d'impureté de l'eau, elle soit toujours parfaitement stérilisée.

Dans les grands appareils industriels, l'émulseur est en grès (fig. 24).

Comme il s'agit d'arriver à une utilisation de l'ozone aussi parfaite

que possible, l'émulsion d'air ozoné et d'eau à traiter est entraînée dans des colonnes en ciment qui ont jusqu'à 5 m de profondeur.

L'eau à traiter est amenée par la canalisation A.

B est l'émulseur dans lequel se fait le mélange d'eau et d'ozone.

C l'extrémité de la tubulure en grès par laquelle l'émulsion est amenée au bas de la colonne D dans laquelle s'agitent des milliers de bulles d'air ozoné.

Par un phénomène très curieux, ces bulles tourbillonnent dans tous les sens sans que jamais les bulles voisines viennent se souder ou s'agglomérer pour venir déboucher à la surface liquide sous forme de gros bouillons.

L'eau saturée d'ozone s'écoule par la cascade E.

F représente le générateur d'ozone. G est la canalisation en grès qui amène l'air ozoné à l'émulseur B.

L'action de l'ozone sur l'eau est tellement intense qu'une vive phosphorescence se produit au moment où l'émulsion prend naissance. L'énergie accumulée au moment de la polymérisation des atomes d'oxygène pour donner de l'ozone est la cause première évidente de ce très curieux phénomène ⁽¹⁾.

PRINCIPALES USINES ÉTABLIES EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER.

A l'heure actuelle, les procédés que j'ai imaginés et mis au point sont appliqués dans un très grand nombre de villes, tant en France qu'à l'étranger.

De nouvelles usines sont en construction. Il ne se passe pas de jour, que les méthodes de traitement électrique des eaux n'enregistrent quelques conquêtes nouvelles.

Je parlerai plus loin du prix de revient de la stérilisation, mais je tiens à signaler, d'une manière immédiate, un cas qui se rencontre assez souvent, où l'on peut dire que l'ozonation est de beaucoup le plus économique de tous les procédés : c'est celui où l'usine de stérilisation est établie à flanc de coteau (fig. 25). Dans ce cas, l'eau à traiter arrive en charge sur l'émulseur après avoir produit l'énergie nécessaire à sa propre stérilisation.

Dans le schéma que je reproduis, A est le canal d'amenée d'eau, B la prise d'eau, C la canalisation qui amène l'eau à la turbine et sur l'émulseur.

(1) M. P. OTTO, *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, tome CXXIII, page 1005.

E et F représentent l'émulseur et la colonne de self-contact.

H et K figurent le groupe turbo-électrique.

L'eau stérilisée tombe en cascade dans le déversoir G et est ensuite livrée à la consommation.

Pour les eaux de composition moyenne, j'ai établi la loi suivante :

Lorsqu'une goutte d'eau tombe de 3,96 m de hauteur, elle peut pro-

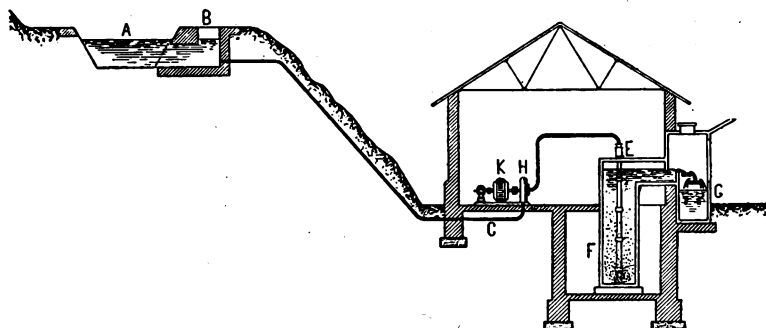


Fig. 25. — Schéma d'une usine de stérilisation électrique dans le cas où l'eau à traiter arrive en charge sur l'émulseur après avoir produit l'énergie nécessaire à sa propre stérilisation.

duire elle-même l'énergie électrique nécessaire à sa propre stérilisation. Cette hauteur de 3,96 correspond à la dépense de 7,5 W nécessaire pour la production de l'ozone.

Il convient d'y ajouter l'énergie à dépenser, pour obtenir la pression nécessaire au fonctionnement des émulseurs, soit 4 m, soit 2 m.

En prenant le chiffre maximum de 4 m, on arrive à une hauteur totale de 7,96 m.

Si les eaux à traiter nécessitent un poids d'ozone plus considérable que celui qui correspond à une dépense de 7,5 W, la hauteur de chute de l'eau doit être augmentée d'une manière proportionnelle.

Je ne puis évidemment reproduire ci-après les milliers de clichés figurant sur le film que j'ai projeté, je donnerai simplement quelques vues de nos installations, grandes ou petites, pour montrer que mes procédés peuvent s'adapter aux cas les plus divers.

Dans le tableau ci-après, sont réunies les caractéristiques des principales installations réalisées en France.

VILLES	PROVENANCE DES EAUX	DÉBIT JOURNALIER
NICE :		
Usine de Bon-Voyage	La Vésubie	10.400 m ³
Usine de Bon-Voyage (Bas service)	Sources de St ^e -Thècle et Vésubie	12.100 m ³
Usine de Rimiez	La Vésubie	12.960 m ³
Usine de Saint-Pierre-de-Féris .	La Vésubie	12.960 m ³
VILLEFRANCHE-SUR-MER		
BEAULIEU	Usine du Col de Villefranche	24.000 m ³
SAINT-JEAN		
EZE		
LA TURBIE		
MONACO		
LA CONDAMINE		
MONTE-CARLO		
ROQUEBRUNE		
CAP MARTIN		
MENTON		
TOULON :		
Usine de Missiessy	Nappe souterraine	7.344 m ³
Usine des Dardennes	Source vauclusienne et barrage	26.000 m ³
AVIGNON :		
Usine de Monclar	Nappe souterraine	8.640 m ³
FRIEY	Le Voigot	600 m ³
AVOUDREY	Nappe souterraine et citerne	230 m ³
PARIS :		
Usine de Saint-Maur	La Marne	90.000 m ³
CHARTRIS	L'Eure	6.000 m ³
LAYAL	La Mayenne	6.000 m ³
OISSEL	La Seine	2.000 m ³
ARGENTAN	Puits	2.000 m ³
GRANVILLE	Le Thar	3.000 m ³
SAINT-PAIR-SUR-MER	Le Thar	600 m ³
AVRANCHES	La Sée	1.200 m ³
DIZARD	Etangs et carrière	4.500 m ³
SAINT-CAST	Ruisseau de Pen Guen	800 m ³
DINAN :		
Usine de Bobital	Etang artificiel	1.000 m ³
SAINT-SERVAN		
PARMÉ		
ROTHENEUF		
DOL	Etang de Beaufort	2.500 m ³
MINIAC-MORVAN		
CHATEAUNEUF		
PLERGUE		
SAINT-BRIEUC		
BREST	Le Gouët	3.000 m ³
LORIENT	L'Elorn	10.000 m ³
AURAY	Le Scorff	10.000 m ³
INDRET	Le Loch	750 m ³
LES SABLES D'OLONNE	La Loire	75 m ³
CHATELLERAULT	Etang artificiel des Tanchettes	2.500 m ³
COGNAC	La Vienne	3.000 m ³
ANGOULÊME	La Charente	10.000 m ³
LAVAU	La Touvre	3.000 m ³
CONDOM	L'Agout	2.400 m ³
SOULAG-SUR-MER	La Baise	400 m ³
	Puits	2.000 m ³

A cette liste déjà longue, nous devons ajouter les noms des Villes qui ont récemment adopté nos procédés ou qui ont décidé de nous confier des travaux.

Nous les donnons ci-après, par ordre de date.

Nous indiquons, en face de chacune d'elles, la provenance des eaux à traiter.

VILLES	PROVENANCE DES EAUX
ARC-LES-GRAY	Puits.
BLOSSEVILLE-BONSECOURS	Galerie souterraine
REDON	Canal de Nantes à Brest
VIERZON-VILLAGES	Puits en terrain d'alluvions (Le Cher).
LA HAYE-DESCARTES	Ruisseau et sources
BERGERAC	La Dordogne
JONZAC	La Seugne
SARRIGUEMINES	La Blise
MONTLUÇON	Le Cher
PLAGE DE QUERON	Le Thar
LANGRES	Source de l'Arbelotte.
MANCENANS	Source
CLOECKELSBURG (en cours)	Puits
BRUSCHE INFÉRIEURE (en cours)	Puits en terrain d'alluvions

De très importantes installations ont été également réalisées à l'étranger et en particulier dans les villes ci-après :

Pétrograd;
 Madrid;
 Genck (Belgique);
 Spezia (Italie);
 Turnu-Severin (Roumanie);
 Braïla (Roumanie);
 Constantza (Roumanie).
 Ekaterinovka (Russie).

En Belgique et au Congo Belge plusieurs usines importantes sont en cours de montage en ce moment.

La ville de Chartres possède de magnifiques installations établies il y a plusieurs années, et qui assurent l'alimentation de la population en eau de l'Eure, filtrée et stérilisée (fig. 26 et 27).

Laval est alimentée en eau prise directement dans la Mayenne. Cette eau est particulièrement colorée ; elle répand en outre, surtout l'été, une odeur désagréable. Une superbe installation a été réalisée (fig. 28, 29 et 30).

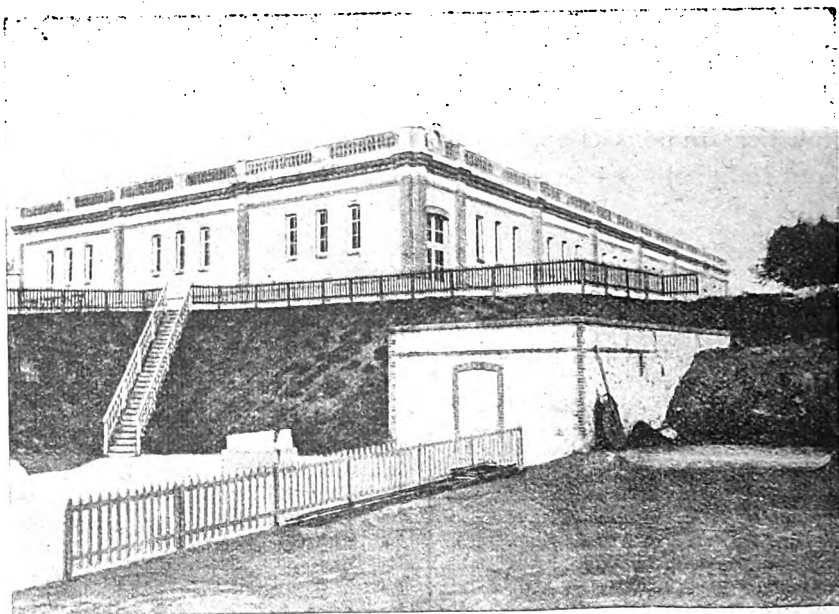


Fig. 26. — Chartres. — Vue générale de l'usine.

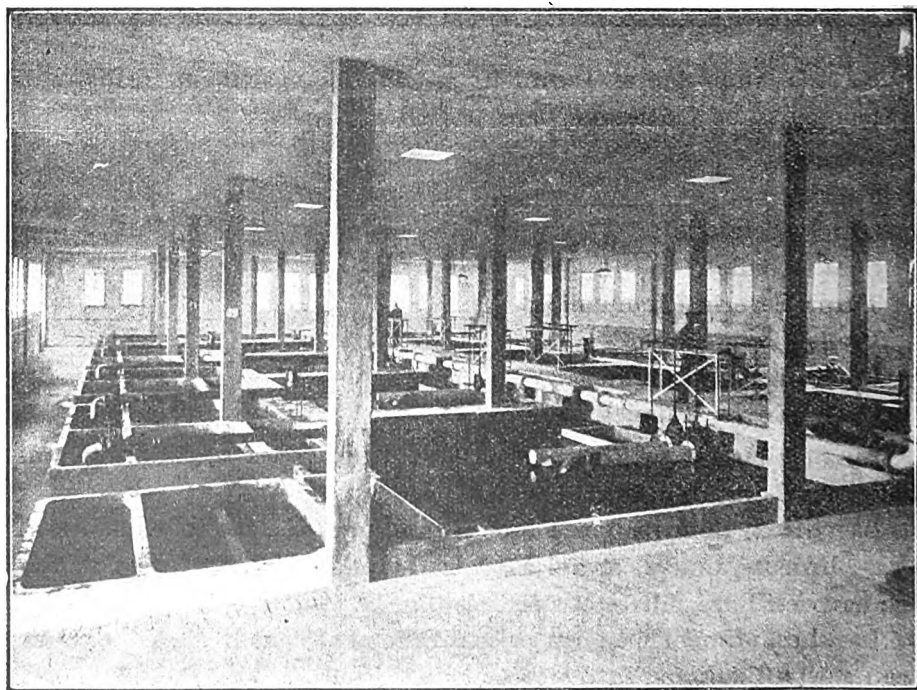


Fig. 27. — Chartres. — Vue d'ensemble des installations filtrantes.

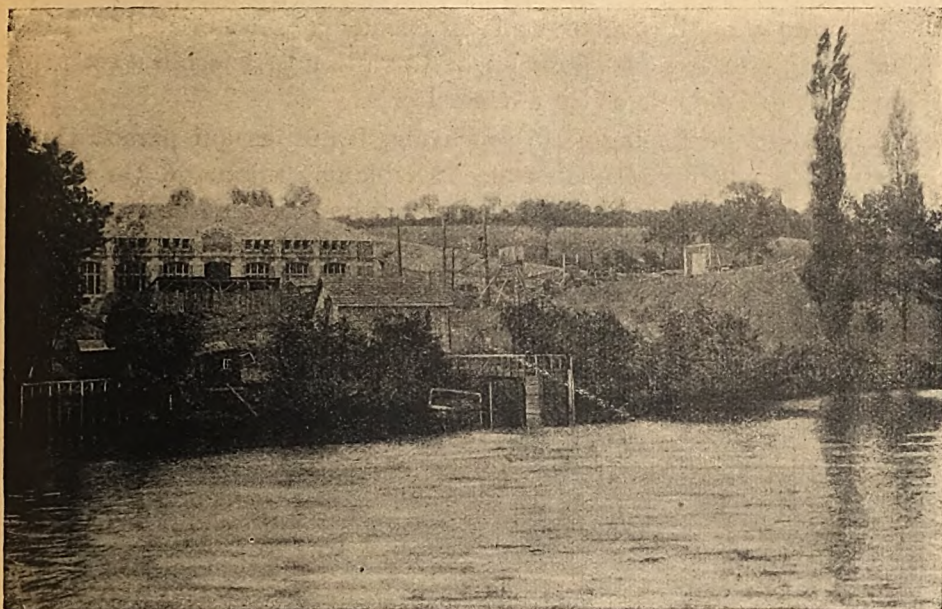


Fig. 28. — Laval. — Vue de l'usine montrant la prise d'eau dans la Mayenne.

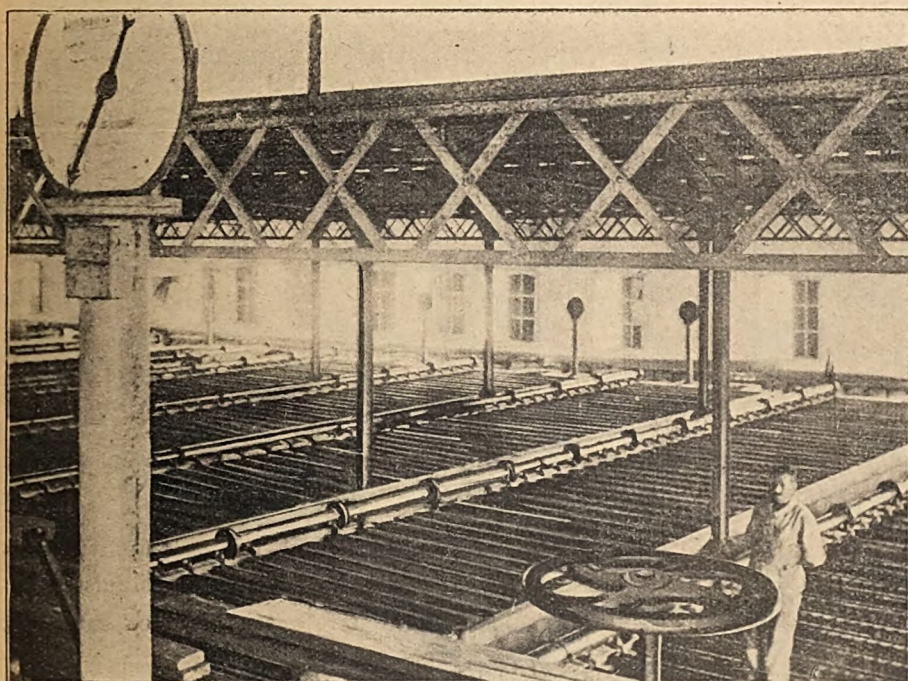


Fig. 29. — Laval. — Vue intérieure des bâtiments filtrants.

L'eau est d'abord coagulée ; elle est ensuite décantée et clarifiée par son passage sur le sable. Dans les bassins filtrants, le sable n'est pas immergé, comme cela a lieu d'ordinaire.

A l'époque où l'usine a été construite, les filtres qui paraissaient donner les meilleurs résultats étaient à sable non submergé. On réalisait ainsi un commencement d'oxydation par l'oxygène de l'air.

Sur nos photographies on distingue nettement les canaux de distribution en ciment armé qui répandent l'eau à traiter sur une couche de gravier placée à la partie supérieure du sable.

Après filtration, l'eau est soumise à l'action de l'air ozoné dans les émulseurs et les colonnes de self-contact.

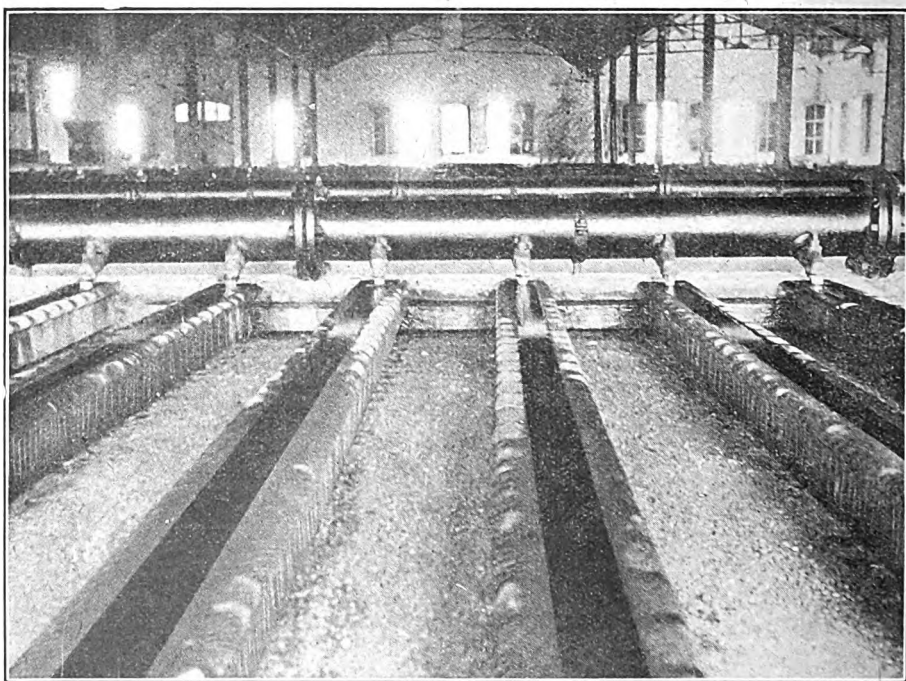


Fig. 30. — Laval. — Goulottes de répartition de l'eau sur les filtres non submergés.)

Dinard, privée d'eau, bâtie sur un sol granitique, a constitué des réserves importantes d'eau brute en créant des étangs artificiels.

Dinard sera prochainement alimenté en outre par les eaux du Fremur.

A Dinan, comme à Dinard, l'eau qui alimente la ville provient d'un étang (fig. 32).

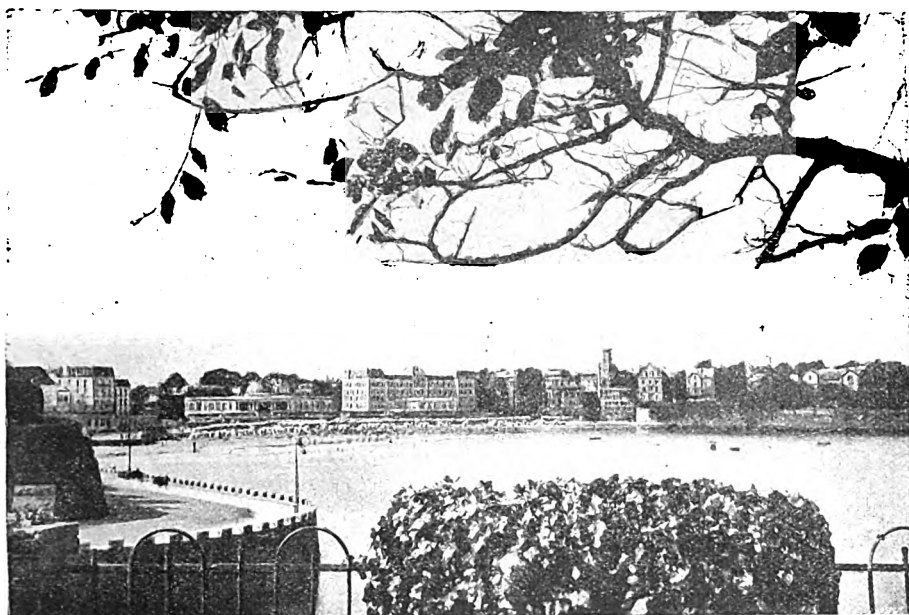


Fig. 31. — Vue générale de la ville de Dinard.

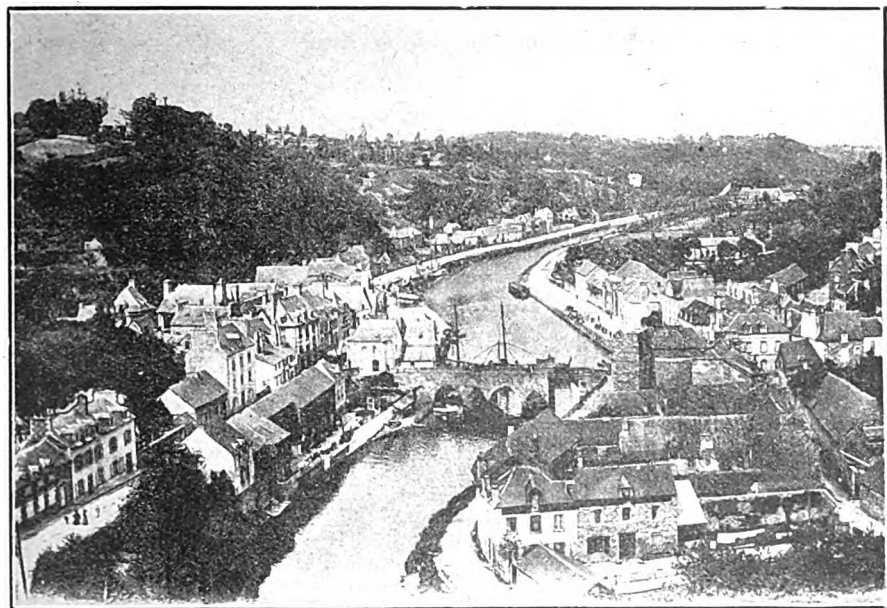


Fig. 32. — Vue de la Rance et du vieux pont, à Dinan.

Pendant de longues années les habitants de Brest ont manqué du volume d'eau indispensable pour assurer l'alimentation des habitants et l'hygiène de la ville.

Grâce à l'ozone cette eau a pu être puisée sans inconvénient dans la rivière l'Elorn qui coule à 27 kilomètres de Brest. L'eau est envoyée sur des filtres pour être clarifiée. Elle est ensuite traitée par l'ozone suivant la méthode que j'ai élaborée.

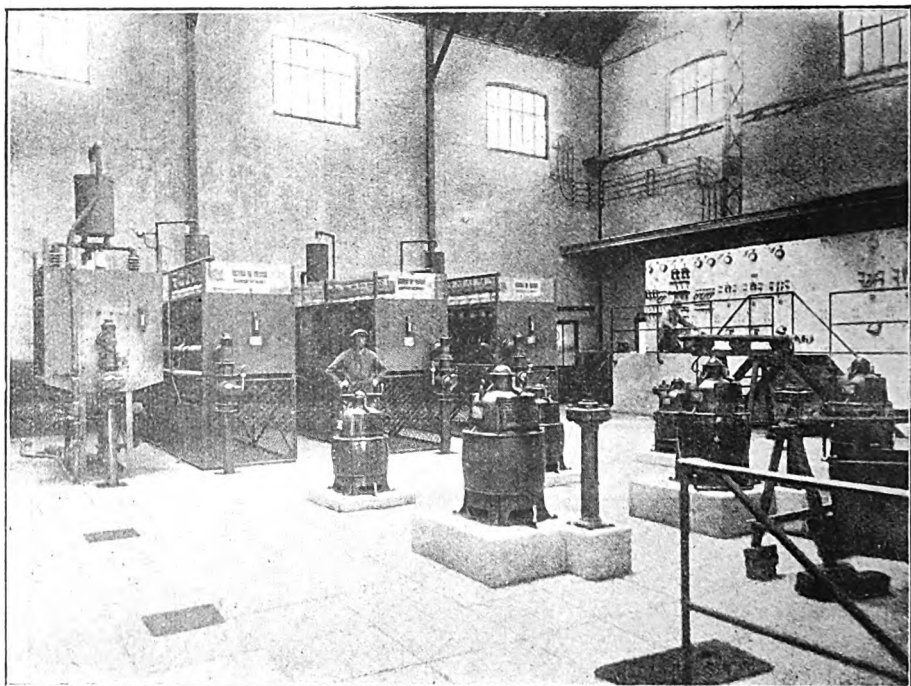


Fig. 34. — Brest. — Batteries d'ozoneurs.

Le nettoyage des filtres se fait par soufflage. Des prélèvements nombreux sont effectués par les chimistes officiels de la ville chargés du contrôle permanent de la purification.

On peut affirmer que, d'une manière constante, l'eau est rigoureusement pure, débarrassée de tous ses microbes dangereux et parfaitement stérilisée. Tout se passe comme si, par un coup de baguette magique, la fée électricité avait fait surgir aux environs de Brest, une source magnifique capable de donner, par jour 10 000 m³ d'eau pure et irréprochable.

La figure 34, représente les batteries d'ozoneurs qui assurent la stérilisation.



Fig. 35. — Brest. — Pompes rotatives.

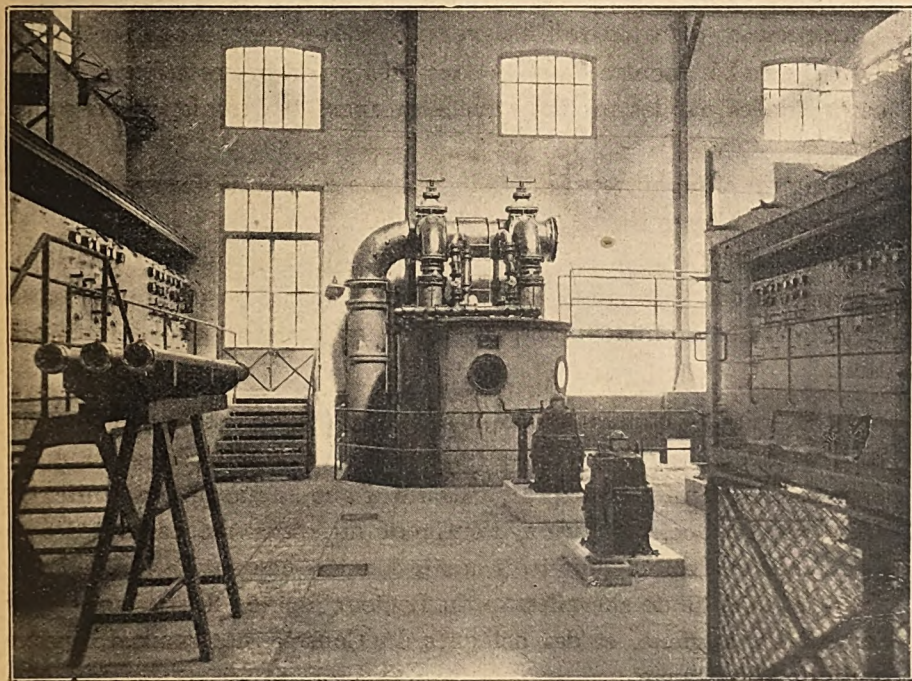


Fig. 36. — Brest. — Colonne de stérilisation.

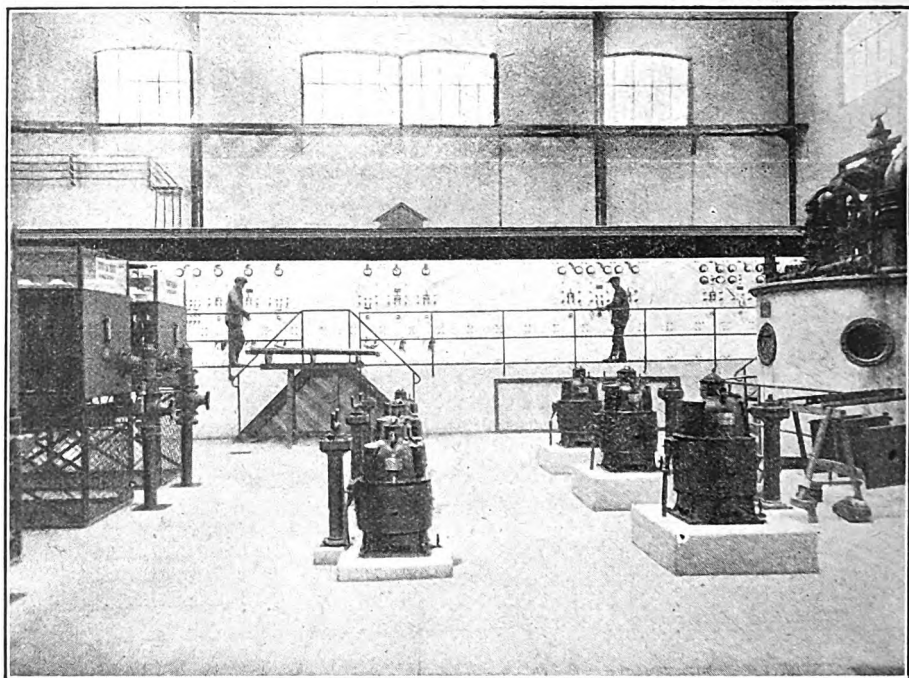


Fig. 37. — Brest. — Tableau de distribution.

Au premier plan, on voit les groupes moto-pompes à axe vertical.

La figure 35, montre dans les sous-sol les pompes rotatives qui sont commandées par les moteurs que l'on aperçoit dans le cliché précédent.

La figure 36, montre en détail la colonne de stérilisation qui est susceptible de débiter 10 000 m³ par 24 heures.

La figure 37, donne une vue d'ensemble du tableau de distribution. A gauche, on distingue les batteries d'ozoneurs, au centre, la partie électrique des groupes moto-pompes, à droite, la colonne de stérilisation.

Les résultats obtenus sont tout à fait remarquables, la stérilisation est parfaite. La couleur de l'eau est nettement améliorée, ainsi qu'en font foi les résultats ci-après, extraits d'une remarquable étude publiée par le Docteur FARCY, l'éminent directeur du Laboratoire de Brest, qui contrôle depuis trois ans le fonctionnement de nos installations, sous la haute surveillance du Docteur BOBROS, Inspecteur départemental d'hygiène, et des délégués du Conseil Supérieur d'Hygiène publique de France.

Spécimen d'Analyses Bactériologiques comparatives de l'eau aux trois stades de traitement

	EAU BRUTE	EAU FILTRÉE	EAU OZONÉE
Limpidité.	opalescente	limpide	cristalline
Dépôt	ocreux léger	nul	nul
Odeur	normale	normale	normale
Saveur	normale	franche	agréable
Couleur	jaunâtre	claire	azurée
Nombre de colonies au centimètre cube	≥ 36.000	29	2
Liquéfiantes.	≥ 24.000	5	»
Non liquéfiantes.	≥ 12.000	24	2
Mucédinees	abondantes	néant	néant
Liquéfaction	très active	faible	nulle
Cultures	entravées par la liquéfaction	normales	normales
Bacterium Coli	≥ 21.000	50	néant
Bactéries putrides.	présence	néant	néant

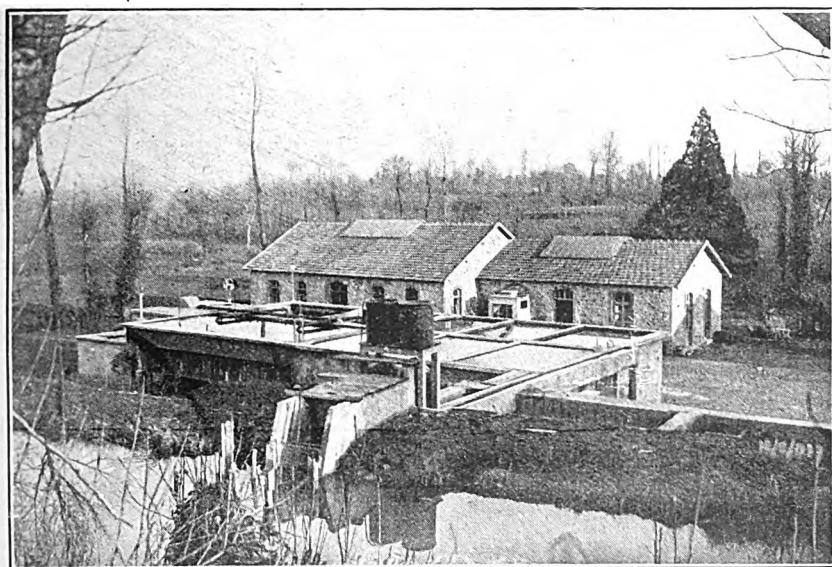


Fig. 38 — Granville. — Vue générale de l'usine de filtration, stérilisation et refoulement des eaux du Thar.

A Granville et Saint-Pair-sur-Mer, l'eau provient du Thar.

A Saint-Servan, Paramé, Rothéneuf, Dol, Miniac-Morvan, Château-Neuf, Plerguer, c'est l'étang de Beaufort qui est utilisé pour l'alimentation publique.

A Soulac-sur-Mer, un puits creusé dans le sable amène l'eau d'une nappe souterraine abondante.

Il y a quelques années, la ville de Saint-Brieuc était périodiquement ravagée par de graves épidémies de fièvre typhoïde.

Elle a adopté l'ozone pour l'épuration des eaux provenant des sources de Plaintel.

Une usine, dont notre photographie donne une vue d'ensemble, a été établie à Château-Bily.

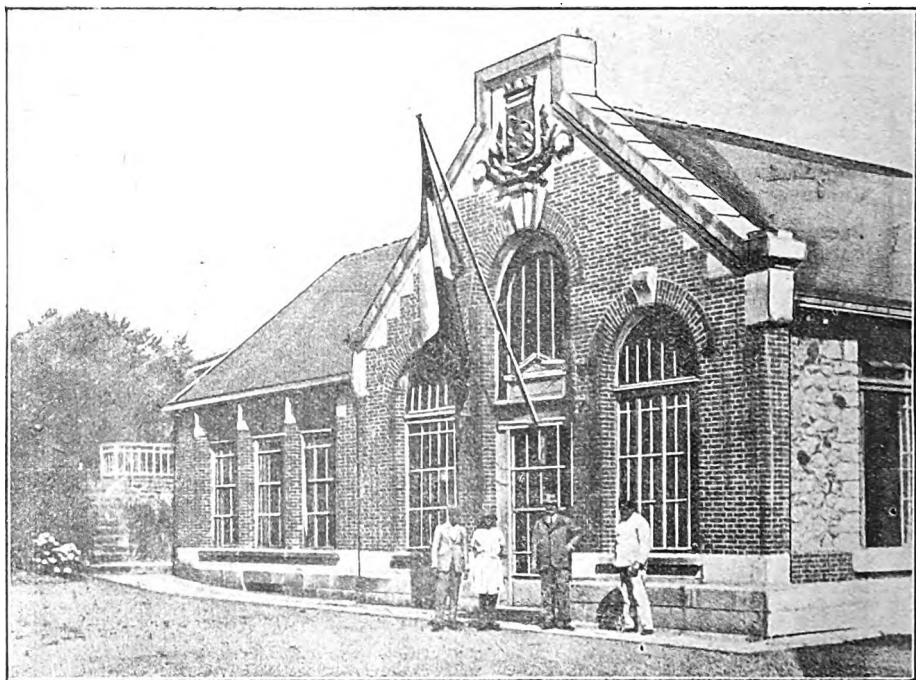


Fig. 39. — Usine de Saint-Brieuc.

Dans cette usine, on a d'abord traité les eaux des sources de Plaintel. Ces eaux se troublent au moment des pluies et elles doivent être filtrées.

La consommation de la ville augmentant, on a dû y adjoindre les eaux du Gouët.

Les installations filtrantes vont être remaniées suivant les projets établis par la Compagnie Générale de l'Ozone.

A Lorient, les eaux traitées proviennent du Scorff.

A Auray, le Loch roule ses eaux jaunâtres; grâce à la filtration et à la stérilisation, on les transforme en un beau liquide azuré.

A Cognac, c'est la Charente qui est la mère nourricière de la ville.

A Châtellerault, c'est la Vienne.

A Angoulême, la Touvre.

A Lavaur, l'Agout.

A Condom, la Baïse.

A Oissel, l'eau est prise dans la Seine.

A Blosserville-Bonsecours, usine en construction, l'eau provient d'une galerie souterraine.

A Bergerac, l'eau va être prise dans la Dordogne.

A Vierzon, l'eau sera prise dans le Cher.

A Avignon de nombreuses épidémies de fièvre typhoïde s'étaient déclarées au cours de ces dernières années, l'eau de la nappe souterraine du Rhône étant contaminée. On a tout d'abord utilisé, pour les conjurer, la javellisation, c'est-à-dire qu'on a mis dans l'eau potable, pour tuer les germes, du chlore qui est, comme tout le monde le sait, un poison violent et parfaitement stable.

L'eau était stérilisée, mais elle prenait un goût extrêmement désagréable.

La ville, après de minutieuses études, a fait choix de mes procédés.

Les figures 40 et 41 reproduisent deux vues d'ensemble des installations réalisées à Monclar.

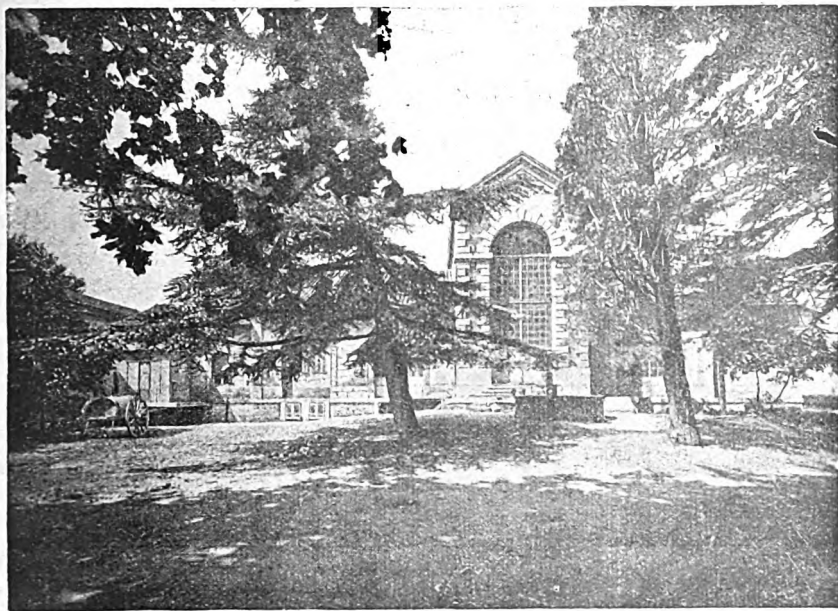


Fig. 40. — Avignon. — Usine de Monclar.

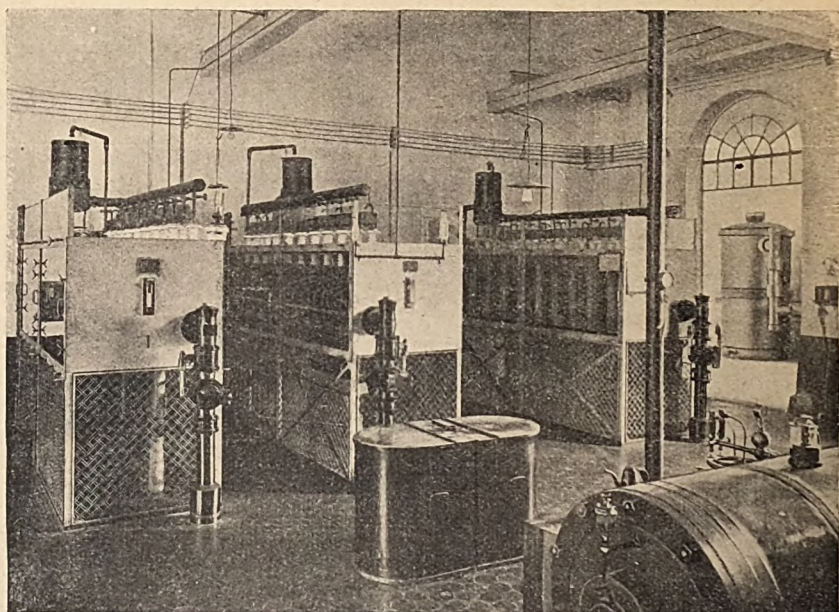


Fig. 41. — Avignon. — Vue des batteries d'ozoneurs

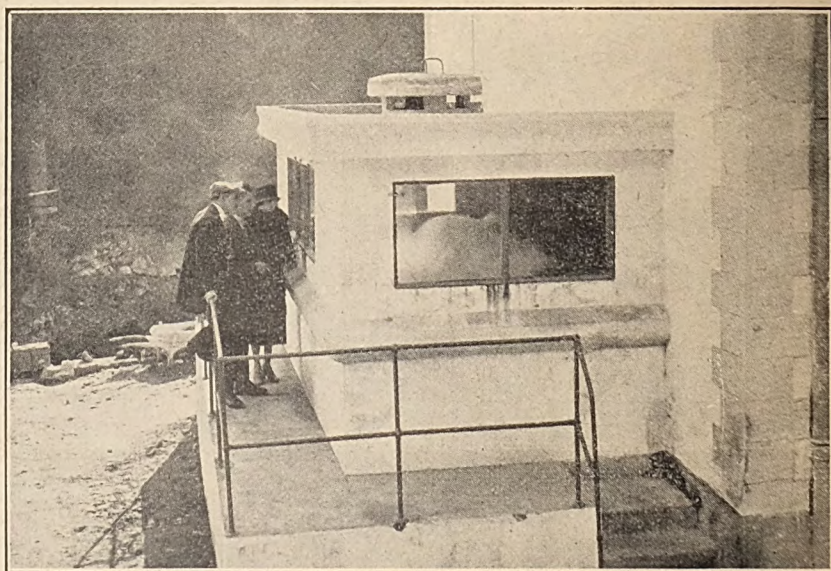


Fig. 42. — Usine de Toulon. — Cascade d'eau ozonée
à la sortie des appareils de stérilisation.

A Toulon, l'eau à traiter arrive en charge sur l'émulseur, après avoir produit l'énergie nécessaire à sa propre stérilisation.

Toulon est alimentée par deux installations principales. L'une d'elles est établie sous le barrage des Dardennes.

Le volume d'eau ozonée atteint $26\,000\text{ m}^3$ par jour. Une belle cascade montre l'énorme volume d'eau qui s'écoule du désaturateur (fig. 42).

La Compagnie Générale des Eaux, en collaboration avec la ville de

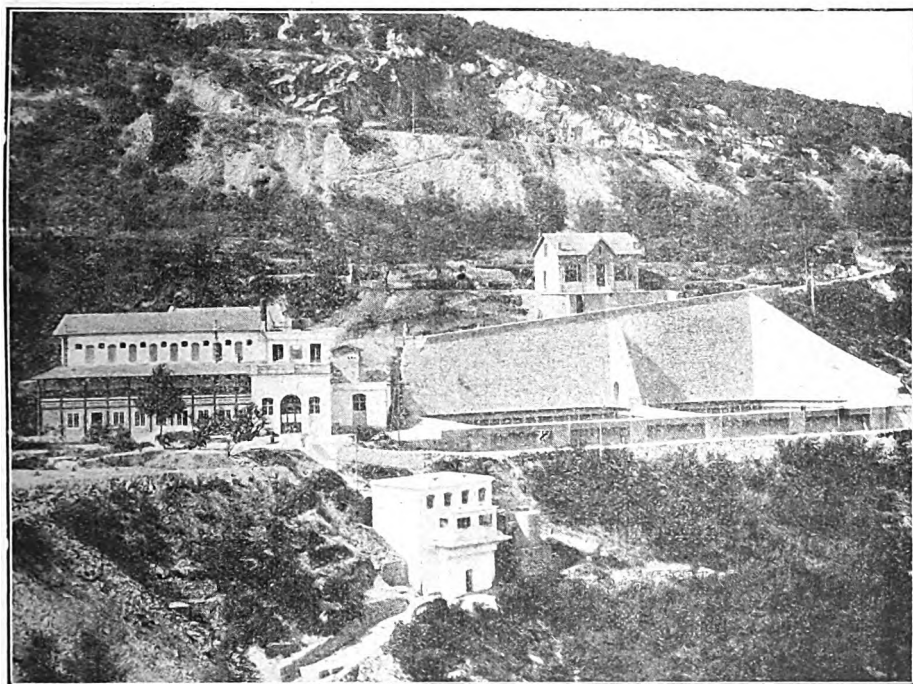


Fig. 43. — Installations de Bon Voyage à Nice.

Nice, a fait établir successivement pour l'alimentation de cette cité, quatre grandes et belles usines.

La première, dont l'origine remonte à 1904, a été créée au lieu dit « Bon Voyage ».

J'ai d'abord construit une première tranche de l'usine, capable de débiter 100 m^3 par heure.

Lorsque la preuve a été faite que les méthodes que j'avais élaborées pouvaient être utilisées industriellement, l'usine a été agrandie et son débit porté à $22\,500\text{ m}^3$ par jour.

Tout récemment encore viennent d'être construits des bassins fil-trants et une annexe à l'usine principale.

La figure 43, donne une vue d'ensemble des installations établies à Bon Voyage sur la rive gauche du Paillon, au-dessous de l'Observatoire.

A droite sont les installations filtrantes; à gauche, sur le même plan que les installations filtrantes, est située la première usine de stérilisation; au premier plan, à la partie inférieure du cliché, se trouve la nouvelle usine qui assure l'alimentation du bas service de Nice.



Fig. 44. — Usine de Rimiez à Nice.

Une troisième usine a été établie à Rimiez. Cette usine est alimentée par l'eau de la Vésabie filtrée. (fig. 44).

Dans le but d'alimenter les nouveaux quartiers créés à l'Ouest de Nice, et dans lesquels on construit chaque année un nombre considérable de villas, la Compagnie Générale des Eaux et la ville de Nice, ont fait établir une quatrième usine au lieu dit « Saint-Pierre-de-Féric ». (fig. 45 et 46).

Dans chacune des quatre stations qui alimentent Nice, c'est toujours l'eau à traiter qui, à l'aide de dispositifs appropriés fournit l'énergie nécessaire à la stérilisation.

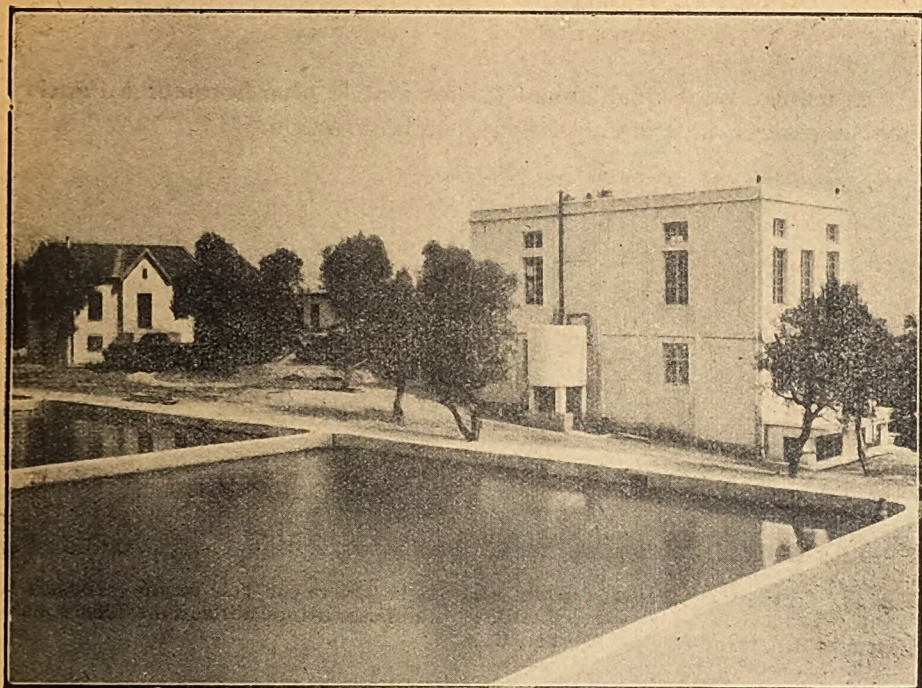


Fig. 45. — Usine et bassins filtrants de Saint-Pierre-de-Féric, à Nice.

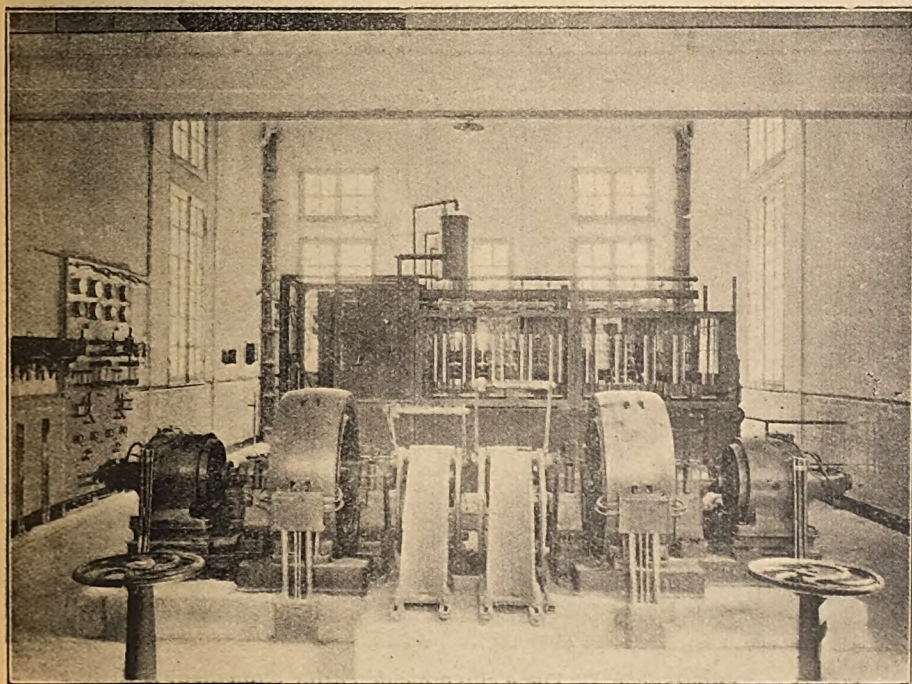


Fig. 46. — Salle des machines de l'usine de Saint-Pierre-de-Féric.

Ces usines, remarquablement tenues font le plus honneur à l'éminent ingénieur M. ANCEL qui en assure la direction.

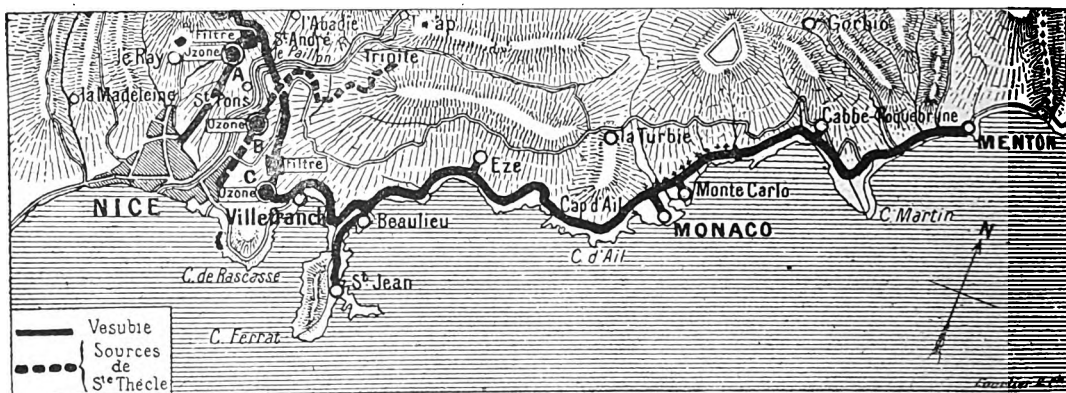


Fig. 47. — Les usines d'épuration des eaux de la Riviera par l'air ozoné (procédés Otto) et les villes desservies. Les deux premières usines alimentant Nice sont en A et B. L'usine du littoral est en C.

M. ANCEL qui a vu, on peut le dire, naître l'industrie de l'ozone à Nice, est un des plus fervents apôtres de la stérilisation électrique :

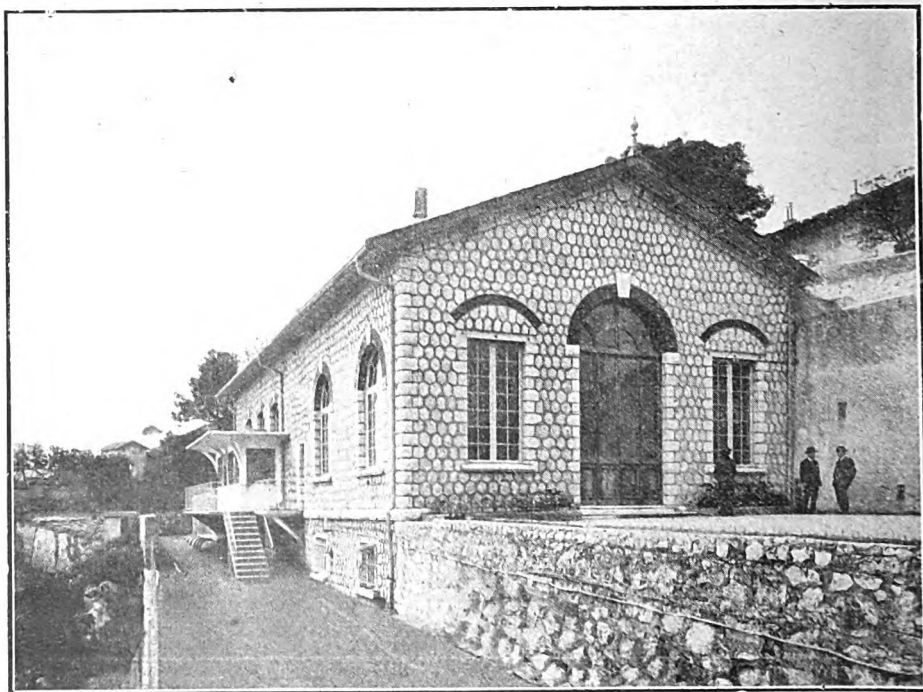


Fig. 48. — Villefranche. — Vue d'ensemble de l'usine alimentant la Riviera méditerranéenne.

M. GENEUIL, le savant bactériologue qui dirige le bureau d'hygiène, contrôle d'une manière permanente les résultats obtenus.

On peut affirmer, sans être taxé d'exagération, que les visiteurs et les savants français ou étrangers qui visitent les installations, dont la ville de Nice est fière, éprouvent un sentiment de surprise en constatant la simplicité du matériel et les beaux résultats obtenus.

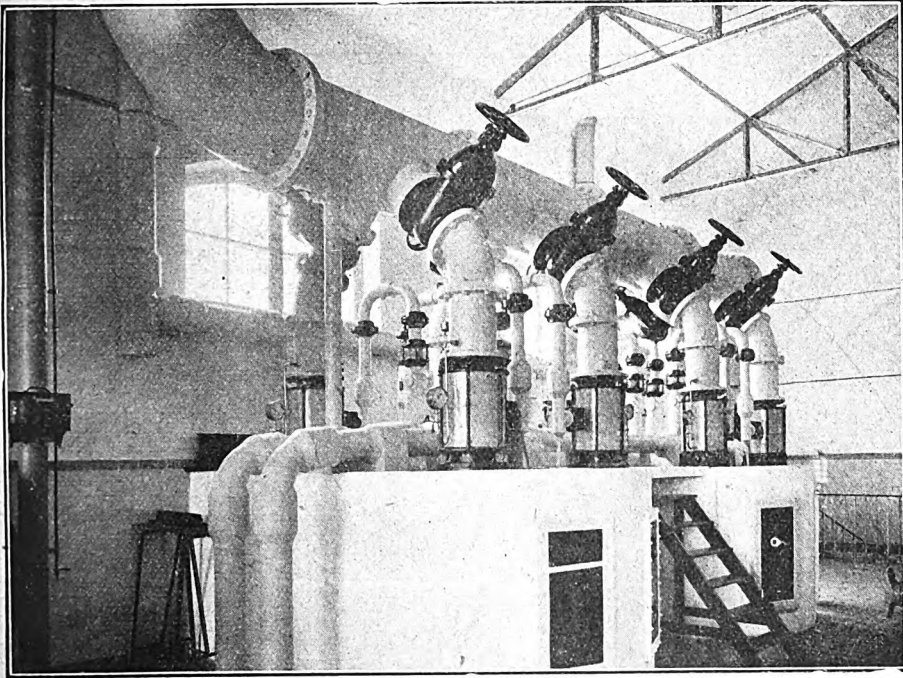


Fig. 49. — Villefranche. — Batteries d'émulseurs et colonnes de self-contact.

Toute la portion du littoral méditerranéen comprise entre Nice et la frontière italienne ainsi que le représentent la carte (fig. 47) et les photographies (fig. 48 et 49), est également alimentée en eau stérilisée électriquement dans les usines de la Compagnie Générale des Eaux.

Ici encore, c'est l'eau à stériliser qui produit elle-même l'énergie électrique nécessaire à la stérilisation.

Usine de la Ville de Paris, établie à Saint-Maur.

En 1900, à la suite d'un concours international dans lequel la Compagnie Générale de l'Ozone a été classée en première ligne, nous

avons obtenu de la Ville de Paris un contrat pour la stérilisation électrique à l'usine de Saint-Maur, d'un volume minimum quotidien garanti de 90 000 m³ d'eau potable. Ce contrat doit rester en vigueur jusqu'en 1938.

Les photographies que nous reproduisons ci-après donnent quelques unes des installations réalisées à Saint-Maur.

La figure 50 est une photographie prise sur les bassins filtrants.

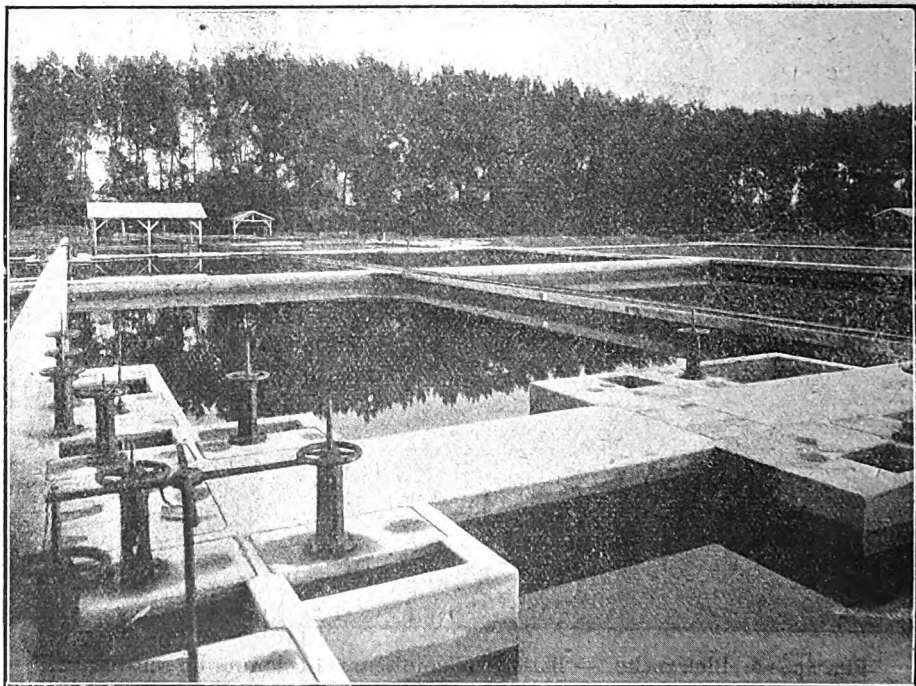


Fig. 50. — Saint-Maur. — Bassins filtrants.

L'eau de la Marne, avant d'être stérilisée a, en effet, besoin d'être clarifiée, en passant sur des couches de sable convenablement disposées.

L'eau sortant des filtres est puisée par des pompes que montre notre figure 51. Elle est ensuite envoyée dans l'usine de stérilisation (fig. 52).

Dans un bâtiment de forme rectangulaire et de dimensions modestes, eu égard à l'importance du volume d'eau qu'il convient de traiter, sont disposés :

- d'une part des générateurs d'ozone,
- d'autre part, des émulseurs et des colonnes de stérilisation d'un modèle analogue à celui que nous avons décrit précédemment.

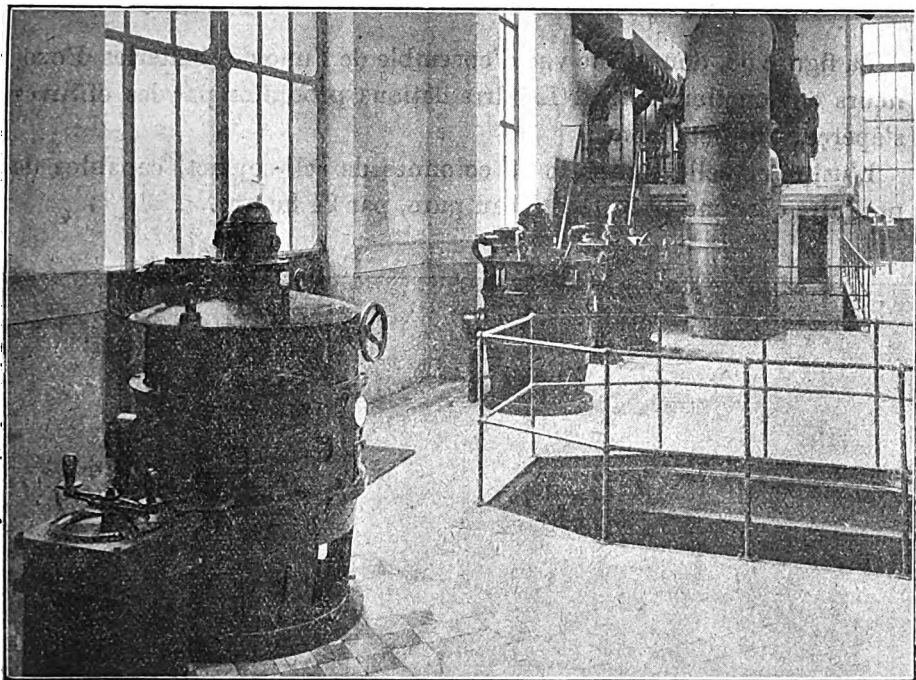


Fig. 51. — Saint-Maur. — Usine de stérilisation : Vue intérieure.
Au 1^{er} plan, groupe moto-pompe électrique.

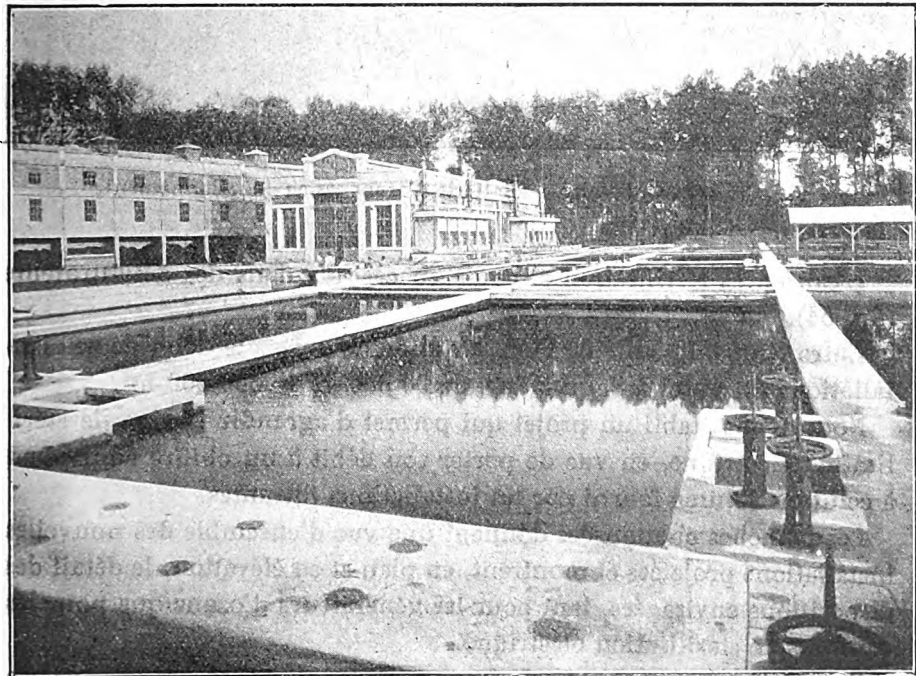


Fig. 52. — Saint-Maur. — Vue extérieure de l'usine de stérilisation électrique.

La figure 53, donne une vue d'ensemble de l'une des batteries d'ozoneurs en fonctionnement. Les irradiations produites par les effluves s'aperçoivent nettement.

L'usine actuelle comporte 10 colonnes de self-contact, capables de produire chacune 10 000 m³ d'eau pure, par 24 heures.

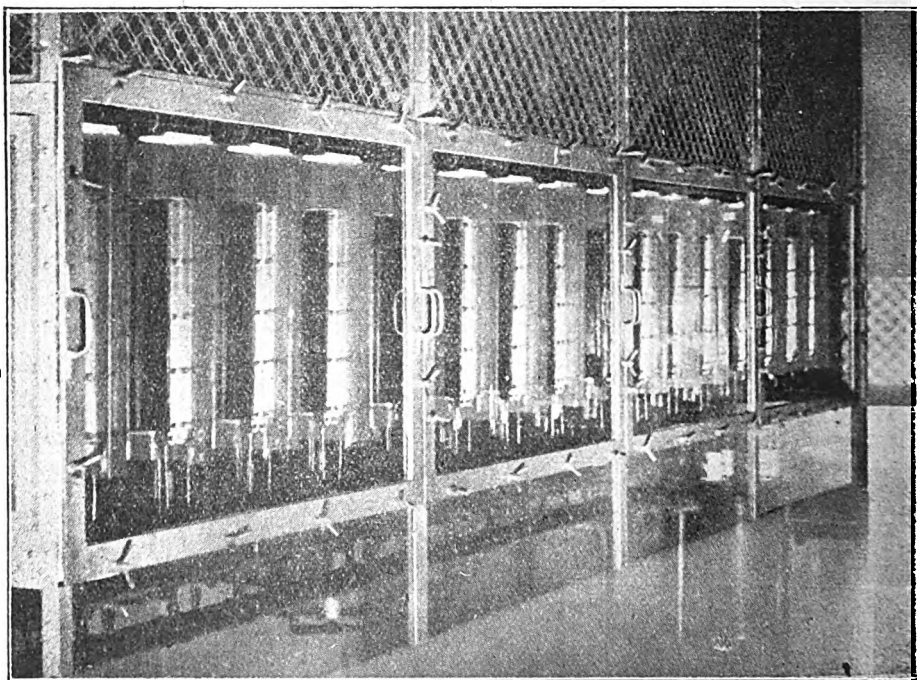


Fig. 53. — Saint-Maur. — Batterie d'ozoneurs en fonctionnement.

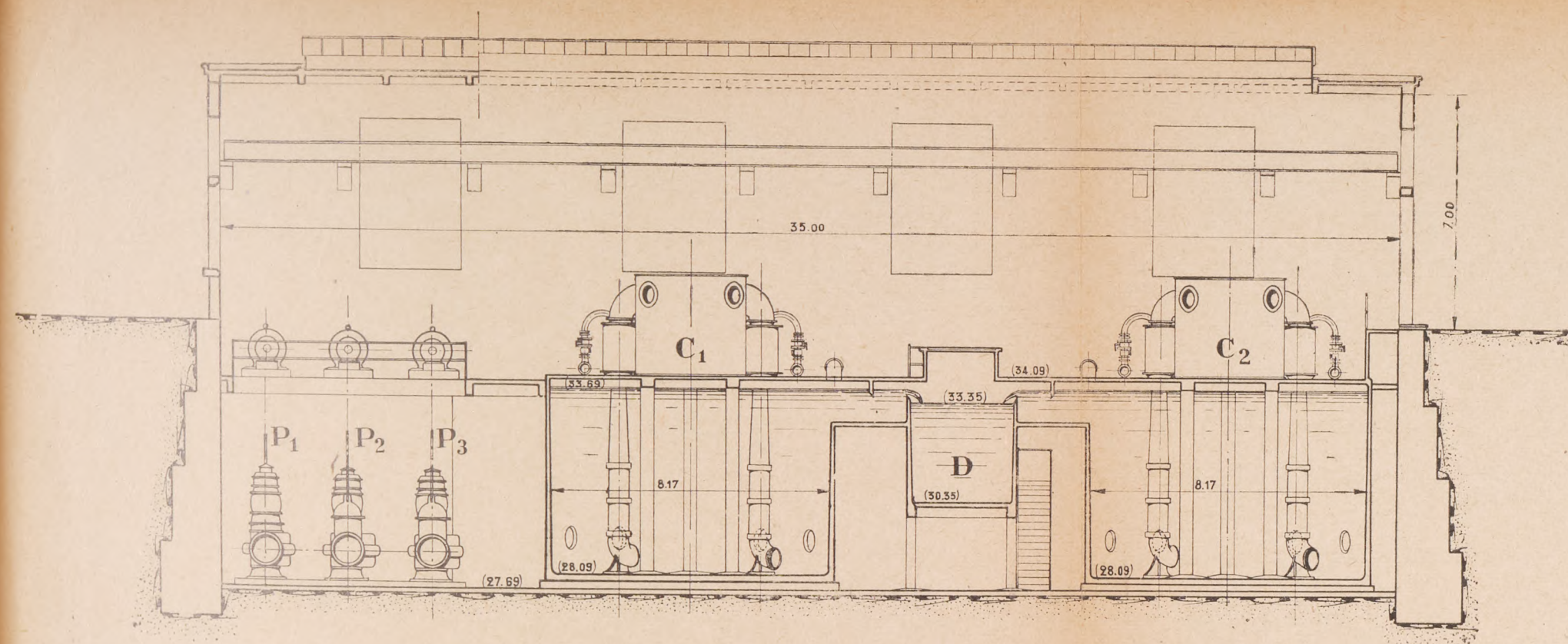
L'eau après stérilisation s'écoule en cascade dans des désaturateurs (fig. 54).

Entre temps, la Ville de Paris a décidé de porter le débit de ses installations filtrantes à Saint-Maur, de 90 000 m³ à 300 000 m³.

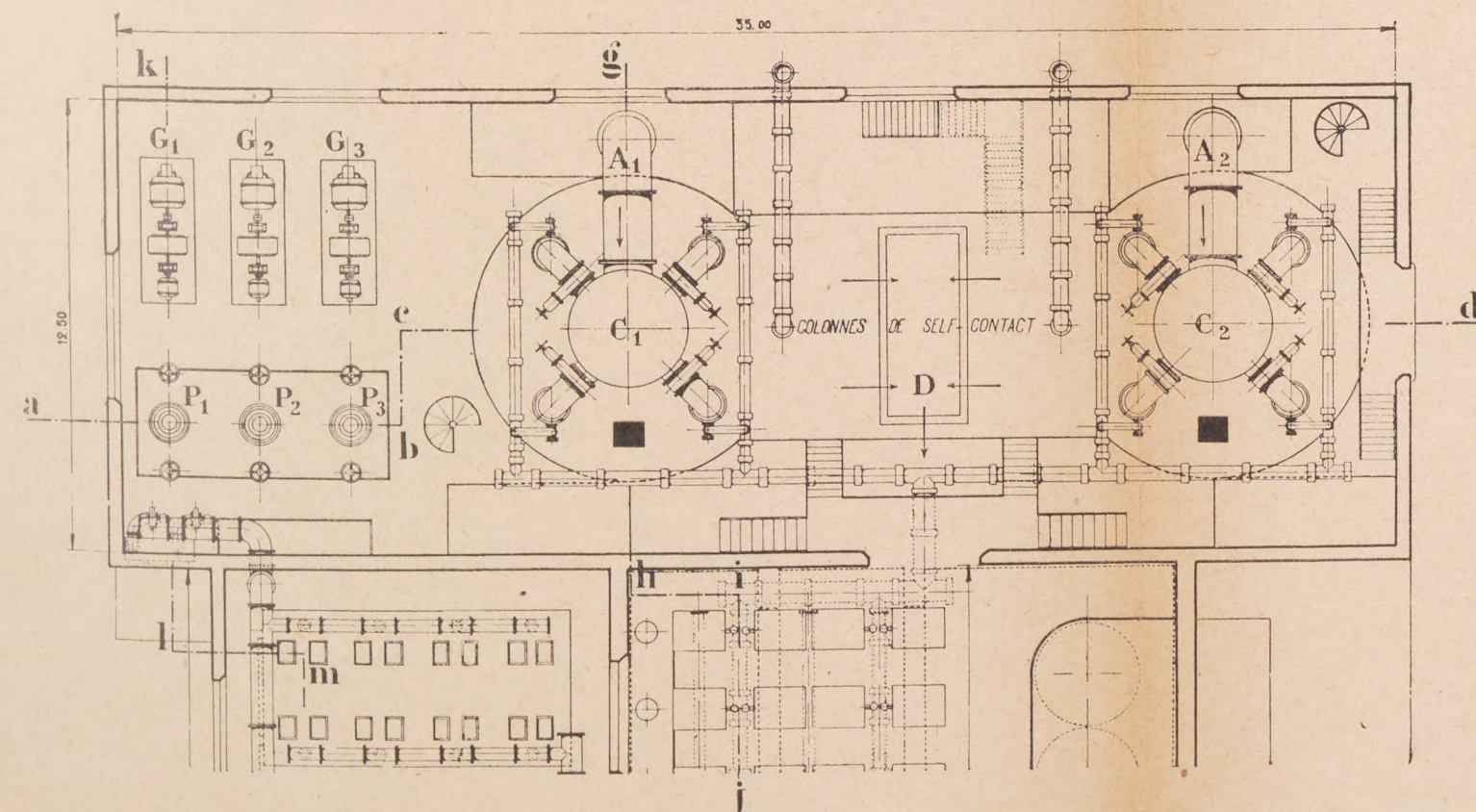
Nous avons établi un projet qui permet d'agrandir l'usine de stérilisation électrique, en vue de porter son débit à un chiffre équivalent à celui du volume fourni par les installations filtrantes.

Les planches ci-annexées donnent une vue d'ensemble des nouvelles installations projetées et montrent, en plan et en élévation, le détail des dispositions envisagées, tant pour les générateurs d'ozone que pour les colonnes de stérilisation électrique.

Ce qui ne peut manquer de frapper, à l'examen de ces dessins, ce



Coupe suivant a.b.c.d.
montrant la disposition des groupes moto-pompes électriques P₁ P₂ P₃
les 2 colonnes de self-contact C₁ C₂ et le déversoir d'eau stérilisée D

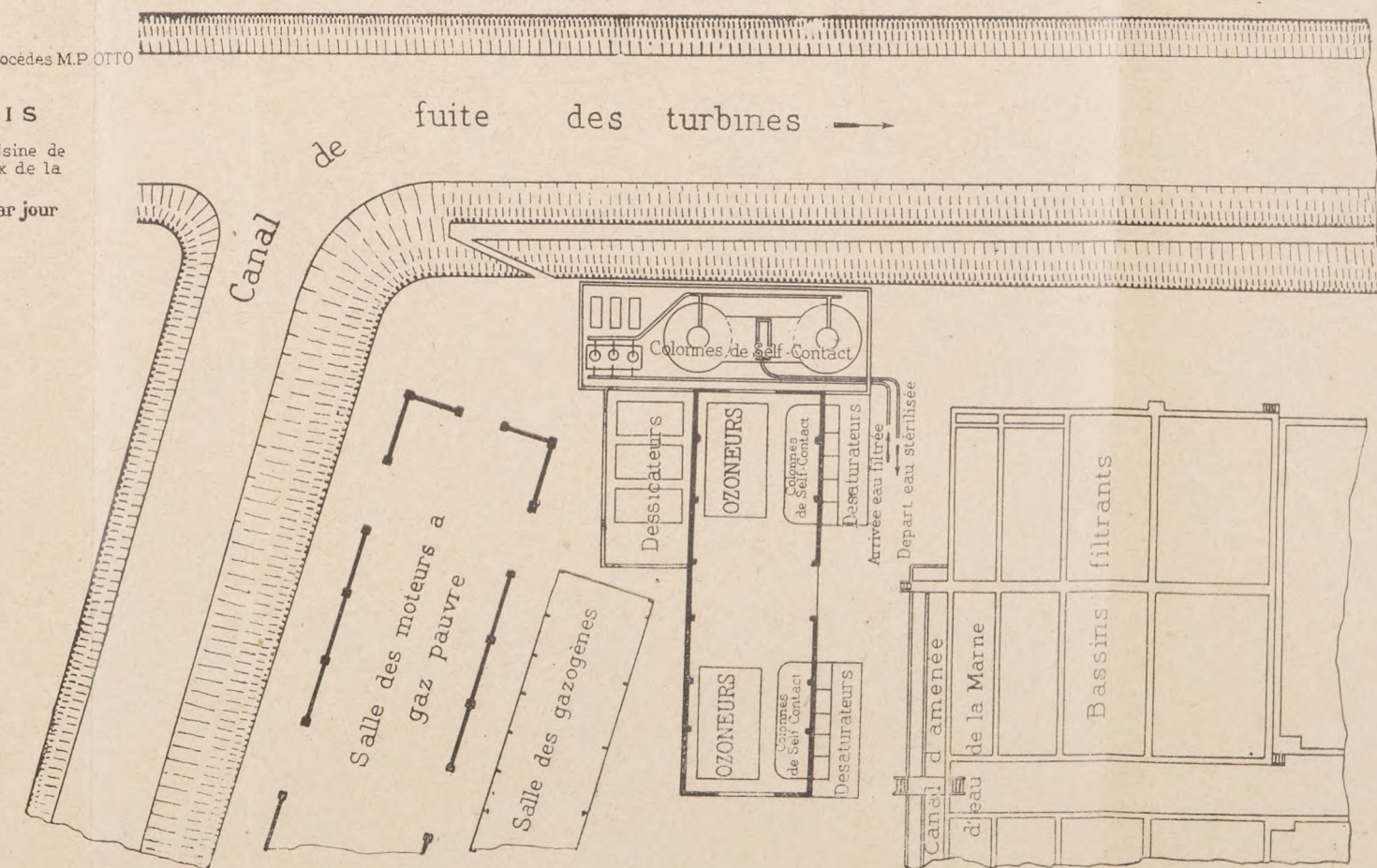


Vue en Plan
des nouveaux bâtiments projetés
Pompes de mise en charge d'eau à stériliser P₁ P₂ P₃
Groupes alternateurs G₁ G₂ G₃
Arrivée de l'eau à stériliser A₁ A₂
Colonnes de self-contact C₁ C₂
Déversoir d'eau stérilisée D

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE L'OZONE Procédés M.P. OTTO
80 Rue St Lazare, PARIS

VILLE DE PARIS

Projet d'agrandissement de l'Usine de
stérilisation électrique des eaux de la
Marne à St Maur
Débit normal 300.000 m³ par jour



Coupe suivant g.h.i.j.
montrant une canalisation d'arrivée d'eau à stériliser A₁
une des colonnes de stérilisation C₁, les batteries d'ozoneurs O₁ à O₇

sont les dimensions extrêmement réduites des différents organes. Les progrès réalisés dans la construction des appareils générateurs d'ozone et des émulseurs sont tels que le matériel constituant la nouvelle usine,

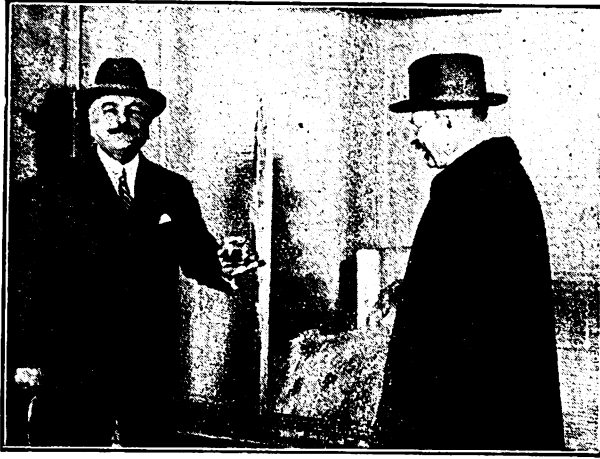


Fig. 54. — Dégustation de l'eau sortant d'un désaturateur.

capable de débiter $300\,000\text{ m}^3$ par 24 h., peut tenir dans les bâtiments anciennement occupés par les appareils débitant $90\,000\text{ m}^3$.

Contrôle instantané de la stérilisation électrique.

L'ozone a la propriété de décomposer les iodures.

L'iode mis en liberté, donne avec l'empois d'amidon fraîchement préparé, une coloration bleue intense.

Il est facile, en utilisant ces réactions, de contrôler d'une manière immédiate, la parfaite stérilisation de l'eau. Des milliers d'analyses bactériologiques ont permis de constater que si l'eau contient un excès d'ozone, elle peut être considérée comme parfaitement stérilisée.

Pour s'assurer que l'eau fournie, soit par les petits appareils domestiques, soit par les appareils industriels, contient effectivement un excès d'ozone, il suffit de prendre, dans un tube à essai ou dans un verre à expérience, quelques centimètres cubes d'eau sortant des appareils; on y verse quelques gouttes de solution d'iodure de potassium et d'empois d'amidon.

On agite; si l'eau prend une belle teinte bleue, c'est qu'elle contient un excès d'agent stérilisant; on peut être absolument sûr de sa pureté et de son innocuité. Si la réaction bleue ne se manifeste pas,

la stérilisation est douteuse, il convient d'augmenter le poids d'ozone.

On peut sans crainte augmenter la dose d'ozone car ce gaz est très instable ; c'est un oxydant extrêmement énergétique, mais qui ne demande qu'à se dissocier. Le résultat de son action est que l'eau se trouve suraérée; elle est par conséquent beaucoup plus légère, beaucoup plus digestive et plus agréable au goût.

COUT DE LA STÉRILISATION.

A titre d'exemple je vais donner quelques chiffres relevés dans deux usines alimentées :

la première par de l'énergie hydraulique, à Nice, Bon Voyage
la seconde par de l'énergie thermique, à Saint-Maur.

Ces chiffres sont extraits d'une communication présentée par mon fils, M. Maurice Orro, au Syndicat Professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. Congrès de Paris, 2 juillet 1927.

1° *Énergie hydraulique.* — J'envisagerai trois cas rencontrés à Nice :

a) A l'usine de Bon Voyage, l'énergie électrique a été fournie jusqu'à ces dernières années par les chutes d'eau des Alpes. Elle était distribuée sous forme de courant triphasé à 20 p.s., sous une tension de 10 000 V.

Le kilowattheure était fourni, avant la guerre, à raison de 3 centimes.

D'après le procès-verbal de la dernière expertise officielle faite le 19 février 1908, la dépense d'ozonation pour 100 m³ d'eau est de : 1,26 kWh, ce qui, pour 1 m³, correspond à une dépense en francs de

$$\frac{1,26 \times 0,03}{100} = 0,000378.$$

Les frais de personnel et d'entretien étaient fixés à forfait à 15 000 fr. par an, ce qui faisait ressortir la dépense par mètre cube en francs à :

$$\frac{15\,000}{22\,500 \times 365} = 0,0018.$$

soit en tout pour l'ozonation : 0,002178.

Les frais de pompage nécessités par la disposition des lieux (voir

rapport des experts du 20 octobre 1905, page 20), étaient par jour en francs de :

$$\frac{51\,028 \times 0.03 \times 24}{22\,500} = 0,00163.$$

La dépense totale en francs par mètre cube était de :

Ozonation	0,000378
Frais de personnel et d'entretien.....	0,001800
Pompage	0,001630
	0,003808

Ces prix de revient s'appliquent à des salaires et à des prix d'énergie électrique d'avant guerre. Ils doivent être majorés pour tenir compte des conditions économiques actuelles.

Depuis 1923, le pompage a été supprimé. C'était un des gros éléments de la dépense.

Pour l'ozonation proprement dite, ce sont maintenant des turbines hydrauliques mues par l'eau à traiter qui fournissent l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des ozoneurs.

De ce côté-là encore la dépense est presque nulle et notablement inférieure à celle qu'entraînerait l'achat de chlore.

b) A Rimiez, l'énergie électrique nécessaire à la stérilisation de l'eau est fournie par la chute de l'eau à stériliser. La dépense se trouve limitée au graissage et à l'entretien des turbines hydrauliques et des alternateurs.

Les frais de main-d'œuvre sont infimes : un seul agent peut surveiller l'ensemble des installations.

Avant la guerre les frais de personnel et d'entretien étaient fixés à forfait à 13 500 fr par an pour un débit de 150 l : sec. Le prix du mètre cube ressortait, en francs à :

$$\frac{13\,500}{0,150 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365} = 0,0029.$$

Le prix de revient à ce jour se trouve légèrement augmenté du fait des variations de prix de main-d'œuvre, mais il reste encore extrêmement bas.

L'usine de Rimiez débite 12 960 m³ par jour.

c) A l'usine de Saint-Pierre de Féric c'est encore l'eau à ozoner qui produit l'énergie électrique nécessaire à son propre traitement. Les dépenses se bornent aux frais de graissage et d'entretien du matériel

mécanique et électrique et aux frais de main-d'œuvre. Ces derniers sont de l'ordre de grandeur de ceux de l'usine de Rimiez.

L'usine de Saint-Pierre de Féric débite 12 960 m³ par jour.

2° *Energie thermique.* — Nous prendrons comme exemple le prix de revient de la stérilisation des eaux à l'usine de Saint-Maur à Paris.

En comptant le kilowattheure, soit à 0,25 fr. par moteur à gaz pauvre, soit à 0,28 fr. par moteur semi-Diesel, le prix de revient du traitement de grandes masses d'eau, peut être abaissé à Paris à une dépense de l'ordre de grandeur du centième du prix de vente de l'eau.

L'eau se vend actuellement 1,53 fr le mètre cube.

On peut affirmer que le prix de revient de la stérilisation par l'électricité pour l'usine de Saint-Maur, y compris la dépense de refoulement de l'eau sur les émulseurs, est inférieur à 0,015 fr. Ce chiffre s'applique, bien entendu, à l'usine marchant à plein débit.

Il est curieux de rapprocher ce chiffre de 0,015 fr. de celui qui avait été donné par un grand journal, l'*Illustration*, qui tout récemment s'exprimait ainsi au sujet des procédés Otto :

« A l'eau de javel M. Georges Lemarchand, président de la Commission des Eaux, comme tout le monde d'ailleurs, préférerait l'ozone qui s'élimine de lui-même et détruit, sans laisser de mauvaise odeur, les bacilles contenus dans l'eau. Mais l'ozone est obtenu par le courant électrique et le prix de revient de l'ozonation est passé de 2,75 centimes, prix d'avant guerre, à 41,4 centimes en 1924. »

M. F. HONORÉ, le distingué rédacteur de l'*Illustration* a du reste reconnu son erreur et l'a fort aimablement rectifiée.

M. Georges LEMARCHAND, qui remplit actuellement avec tant de distinction les fonctions de Président du Conseil Municipal, et à qui notre capitale est redevable de tant de progrès, a été l'un des promoteurs de la stérilisation électrique.

La conclusion de ce qui précède est qu'on peut affirmer que, pour Paris, le prix de revient de la stérilisation est absolument insignifiant. Personne n'oserait soutenir d'une manière sérieuse que ce prix présente un caractère prohibitif.

La récente épidémie de la région lyonnaise.

La récente épidémie qui a causé de si grands ravages dans la région lyonnaise a coûté plus cher en soins à donner aux malades et en pertes

de vies humaines, que la construction de plusieurs usines de stérilisation.

La Ville de Lyon est admirablement placée au point de vue distribution de l'énergie électrique. Le kilowattheure peut être obtenu par les services municipaux, dans les conditions économiques actuelles, au prix de 7 centimes.

Dans ce cas, si nous comparons ce prix de 7 centimes à celui de 28 centimes envisagé pour Paris, nous arrivons à la conclusion que le coût de la stérilisation à Lyon est quatre fois moindre que le chiffre prévu pour Paris, soit $\frac{0.015}{4} = 0.00375$.

Lorsque le Rhône charrie des eaux troubles chargées de germes de toute nature, les Lyonnais peuvent avoir, dans des conditions extrêmement économiques, de l'eau absolument saine et irréprochable présentant toutes les qualités requises pour une hygiène parfaite.

CHLORE ET OZONE.

On a souvent essayé de mettre en concurrence les procédés de stérilisation chimiques basés sur l'emploi du chlore et la méthode de stérilisation électrique par l'ozone.

Un des grands reproches qu'on a toujours faits au chlore est la nécessité de mettre en œuvre des poids de chlore qui communiquent à l'eau une saveur désagréable et quelquefois nauséabonde. Le cas s'est produit récemment à Paris où un des grands réservoirs de distribution de la Ville a dû être entièrement vidé.

On ne doit, à mon avis, utiliser le procédé au chlore que pour des applications momentanées et pour des cas extrêmement urgents. Si, par exemple, une épidémie de fièvre typhoïde se déclare dans une agglomération, il est logique d'employer un moyen rapide pour détruire les germes malfaisants que l'eau d'alimentation véhicule. On peut, dans ce cas, mettre du chlore dans l'eau. Si la méthode présente quelques inconvénients, ces inconvénients sont passagers et les consommateurs doivent, dans leur intérêt propre, les supporter.

Mais, faire boire en permanence à toute une population de l'eau additionnée d'un poison violent et stable comme le chlore, constitue une méthode barbare dont l'emploi devrait être absolument prohibé dans un grand pays comme le nôtre qui s'honore d'être la patrie de Pasteur.

Ce sont les Américains qui, les premiers, ont préconisé ce procédé et qui l'ont introduit en France pendant la guerre.

Je m'adresse à tous ceux qui, sur le front, ont été alimentés par de l'eau chlorée. Elle était imbuvable. Les chevaux eux-mêmes n'en voulaient pas et les hommes préféraient à ce liquide malodorant un bon verre de vin généreux.

Frappés des inconvénients que présentent les doses normales de chlore, certains auteurs ont cherché à lancer des procédés fantaisistes dans lesquels le chlore n'intervient qu'à doses infinitésimales et conserve, malgré cela, son action microbicide. Ces auteurs n'ont pas hésité à affirmer que les matières organiques traitées par l'hypochlorite émettaient des radiations abiotiques qui assuraient la stérilisation. Le malheur est que ces radiations n'ont jamais existé que dans leur imagination.

Une note présentée à l'Académie des Sciences par le Docteur Roux, Directeur de l'Institut Pasteur, Président du Conseil supérieur d'hygiène publique de France, dans la séance du 26 septembre 1927, au nom de MM. Diénert et Etrillard, les savants bactériologues, en conteste d'une manière absolue l'existence.

D'après MM. Diénert et Etrillard, la quantité de chlore nécessaire pour stériliser des suspensions microbiennes dans l'eau, peut varier entre 1/10 mmg de chlore libre et 8 mmg, par litre.

On trouve dans les eaux superficielles, des germes qui résistent à plus de 3 mmg de chlore par litre.

Les auteurs ont opéré sur une dissolution microbienne contenant 10^6 germes par centimètre cube.

Dans leur note ils s'expriment textuellement comme suit :

« Mais si, de cette dilution microbienne à 10^6 germes au centimètre cube, onensemence non plus 1 cm^3 mais 100 cm^3 , on rencontre des germes qui sont plus résistants et il faut souvent, pour certaines espèces, quadrupler et quintupler les doses de chlore indiquées ci-dessus pour les détruire complètement. »

Il ne faut donc pas songer, pour stériliser l'eau, à employer des doses infinitésimales de chlore.

Les poids de chlore qu'il convient d'employer pour obtenir une bonne stérilisation dépendent essentiellement, comme lorsqu'il s'agit d'ozonation, du degré de plus ou moins grande pureté de l'eau à traiter.

D'un important travail publié tout récemment par M. Diénert, j'extraits les lignes suivantes :

« L'eau de la Marne, par exemple, quand elle est claire, renferme

« 80 à 100 germes au centimètre cube. L'addition de 0,5 mmg de
« chlore y laisse subsister quelques germes.

« Avec un milligramme de chlore, l'eau est stérile.

« Après une petite pluie, si l'eau devient un peu louche, le nombre
« des germes augmente. On en compte 200 à 300 au centimètre cube.

« Pour stériliser l'eau, il faut plus de 1 mmg de chlore mais moins
« de 3 mmg.

« Enfin, quand l'eau est très trouble, le nombre des germes passe
« aux environs de 2 000 et après traitement avec 3 mmg de chlore,
« il reste encore 40 germes.

« On a prétendu que le chlore liquide avait une action plus éner-
« gique que le chlore libre de l'eau de javel.

« Les résultats pratiques obtenus dans la stérilisation en grand des
« eaux de Seine filtrées, montrent que cette prétention paraît peu
« fondée.

« Il n'y a pas lieu de faire de différence entre le chlore gazeux et
« le chlore des hypochlorites au point de vue de la stérilisation. »

Une notice publiée par les services de santé de l'armée (Instruc-
tion provisoire concernant l'épuration des eaux de boisson dans les
établissements militaires par les hypochlorites, procédé dit de « javel-
lisation »), contient des remarques et formules des réserves du plus
haut intérêt :

« Il convient de rappeler, dit cette instruction, que la javellisation à
« très faibles doses (1 à 5 décimilligrammes par litre), seule susceptible
« de donner une eau sans goût désagréable, condition première de sa
« potabilité, fait bien disparaître la plupart des germes pathogènes
« (Eberth et Bac. Coli en particulier), mais paraît n'avoir, à ces doses,
« aucune action destructive sur les protozoaires (amibes et leurs kystes,
« par exemple).

« Ne semblent pas davantage atteintes les espèces microbiennes,
« d'ailleurs banales et inoffensives, telles que les moisissures, le B.
« subtilis, le mésentericus, etc...

« Il est actuellement admis que si le chlore libre exige pour réa-
« liser son action épuratrice un temps de contact relativement court
« (1/2 heure à une heure), après son introduction dans l'eau, par
« contre celle-ci ne doit guère être conservée au delà de douze heures
« dans des réservoirs. Il a été, en effet, constaté, que passé ce délai
« maximum, des germes pathogènes peuvent être décelés dans sa
« masse bien que celle-ci ait été correctement traitée par les hypo-
« chlorites.

« Cette réapparition des espèces microbiennes est d'autant plus rapide que la température extérieure est plus élevée. Il s'en suit qu'un récipient ou réservoir dans lequel on a javellisé une quantité fixe d'eau à consommer, dans un temps déterminé, doit être installé à l'abri de la chaleur et complètement vidé avant toute épuration nouvelle par le même procédé. »

Que se passe-t-il exactement dans l'action du chlore sur l'eau ? Pourquoi celle-ci ne peut-elle pas être conservée au delà de 12 heures dans les réservoirs à l'état de pureté ?

C'est qu'il est probable qu'à des doses trop faibles, l'eau n'est pas stérilisée et que les germes sont simplement chloroformés, si l'on peut s'exprimer ainsi.

Par contre, si la dose est trop forte, l'eau est parfaitement stérilisée, mais elle devient inbuvable.

Avec l'ozone, au contraire, la dose d'agent stérilisant peut être dépassée, sans inconvénients d'aucune sorte. L'ozone se dissocie, de l'oxygène pur reste dans l'eau, celle-ci est simplement suraérée.

RÉSULTATS COMPARÉS DE L'ACTION DU CHLORE ET DE L'OZONE SUR L'EAU.

Si l'on veut établir une comparaison scientifique correcte entre l'action du chlore et celle de l'ozone sur l'eau, il faut envisager les résultats obtenus aux différents points de vue :

bactériologique, physique, chimique, organoleptique.

1° EN CE QUI CONCERNE L'OZONE, les caractéristiques de son action sont les suivantes :

a) *Au point de vue bactériologique.* — L'eau, après ozonation, ne contient que quelques colonies microbiennes inoffensives, elle est débarrassée de tout germe dangereux.

Ces infiniment petits sont, pour ainsi dire brûlés à froid par l'air électrisé.

L'eau, en effet, ne s'est pas réchauffée, elle n'a pas subi la moindre élévation de température, elle s'est même très légèrement rafraîchie par suite de son brassage énergique avec l'air.

L'action de l'ozone s'exerce d'une manière tellement intense, que la destruction des germes est accompagnée d'une vive luminosité : l'eau devient phosphorescente.

b) *Au point de vue physique.* — L'eau vue à travers des tubes de

2 m, fermés par des glaces, présente, avant ozonation, une teinte jaunâtre, terreuse, très accentuée. Après ozonation elle est, au contraire, d'un beau bleu azuré, rappelant de tous points l'eau magnifique qui, en belles cascades cristallines, s'écoule des glaciers.

A l'appui des observations qui précèdent concernant la couleur de l'eau, je dois citer les observations faites par M. DIÉNERT et M. GUILLERD et publiées par eux dans les *Annales d'Hygiène*, t. IV, août 1928.

Les modifications de couleur apportées par le traitement à l'ozone sur les eaux filtrées, se trouvent résumées dans le tableau ci-après.

On peut y apprécier l'atténuation du jaune, l'intéressant relèvement des proportions de la couleur vert-bleu.

La javellisation produit des effets du même ordre, mais à un degré moindre que l'ozonation.

Les transformations de teintes se présentent ainsi :

	Orange	Jaune	Vert	Bleu	Assombrissement
2 juin.					
Eau brute	1,2	1,8	0	0	9
Eau filtrée	0	1,2	0,3	0	»
Eau filtrée javellisée	0	0,8	0,3	0	»
Eau filtrée ozonée	0	0,3	0,5	0	»
9 juin.					
Eau brute	0	2,5	0,2	0	5,3
Eau filtrée	0	0,7	0,2	0	»
Eau filtrée javellisée	0	0	0,5	0	»
Eau filtrée ozonée	0	0	0,4	0,2	»
27 janvier					
Eau filtrée avant ozonation..	0	0,4	0,1	0	»
Eau filtrée après ozonation..	0	0	0,2	0,3	»
1 ^{er} février.					
Eau filtrée avant ozonation..	0	0,3	0,2	0	»
Eau filtrée après ozonation..	0	0	0,2	0,4	»

On voit nettement réapparaître dans les eaux ozonées la couleur bleue, une des caractéristiques de l'eau pure.

c) *Au point de vue chimique.* — L'eau ne contient pas seulement des microbes ou des matières organiques en suspension, elle contient encore des matières minérales en dissolution.

Ces matières minérales constituent, en quelque sorte, la partie nutritive de l'eau. Elles sont indispensables à notre organisme, il

faut qu'elles subsistent pour que l'eau conserve ses propriétés bien-faisantes.

L'air électrisé ne les attaque pas, les matières minérales restent intactes et avant comme après ozonation, on retrouve dans l'eau les mêmes sels, dans les mêmes proportions.

d) Au point de vue organoleptique. — L'ozonation ne modifie la composition chimique de l'eau que pour l'améliorer, n'y introduit aucune substance étrangère nuisible et ne laisse aucune trace, ni goût, ni odeur. Elle détruit le goût de vase que gardent parfois les eaux de surface.

Ces conditions sont pleinement remplies dans toutes les usines créées jusqu'à ce jour.

On peut y constater que l'eau ozonée est agréable à boire, et dépourvue de toute espèce d'odeur ou de saveur particulière.

Au point de vue de l'aération, l'eau ozonée, à l'inverse de l'eau bouillie, tient en dissolution le volume maximum de gaz qu'elle est susceptible de capter. Elle est sursaturée d'oxygène. Elle est très légère et très digestive.

2° EN CE QUI CONCERNE LE CHLORE, les phénomènes qui se produisent sont tout différents de ceux qui accompagnent l'ozonation.

a) Au point de vue bactériologique, il n'y a pas, comme avec l'ozone, production de phosphorescence.

Si l'on tient compte du poids moléculaire de l'ozone : 48, et de celui du chlore : 35,46, les quantités à mettre en œuvre pour obtenir une bonne stérilisation sont identiques ou du moins très voisines, mais l'action du chlore est beaucoup moins énergique que celle de l'ozone. Elle nécessite, du reste, pour s'exercer d'une manière convenable, un temps beaucoup plus long. Alors qu'avec l'ozone, une durée de contact de quelques minutes est suffisante, avec le chlore cette durée de contact doit être prolongée plus d'une heure et même, dans certains cas, portée à plusieurs heures. Aussi, ne peut-on pas employer des colonnes de contact comme avec l'ozone. Ce sont les canalisations elles-mêmes qui servent à prolonger le contact. Bien entendu, c'est au détriment de leur conservation propre, car le chlore attaque énergiquement le matériel, les pompes et les tuyaux.

Le goût d'iodoforme ou de phénol qui se trouve souvent dans l'eau traitée par le chlore n'a d'autre provenance que l'action de ce dernier sur le goudron qui sert de revêtement intérieur aux canalisations.

Les compteurs eux-mêmes peuvent être attaqués. Il ne faut pas négliger, enfin, les effets néfastes que peuvent produire des doses répétées d'eau chlorée sur l'organisme humain.

Dans le *Bulletin des Sciences pharmacologiques* (mai 1912) M. Bonjean résume ainsi les inconvénients du traitement de l'eau potable par le chlore :

« En traitant par l'hypochlorite de soude ou par l'eau de javel et le sulfite de soude, les eaux polluées destinées à l'alimentation publique, on risque donc de faire ingérer aux habitants qu'elles alimentent :

« 1° de l'hypochlorite de soude ou de potasse et toutes les impuretés qui accompagnent ce produit industriel ;

« 2° du sulfite de soude et toutes les impuretés qui accompagnent ce produit industriel ;

« 3° des sels de plomb provenant de l'attaque des conduites de distribution s'il y a excès de ces produits ;

« 4° les germes pathogènes ou suspects des eaux contaminées, s'il y a une quantité insuffisante d'hypochlorite.

« Enfin, les compteurs et les canalisations peuvent être attaqués et abîmés. Il y a donc lieu d'enrayer l'application d'un tel procédé qui — employé à tort ou à travers, sans les précautions scientifiques rigoureuses, indispensables et difficilement réalisables qui, exceptionnellement, ont pu être appliquées à Paris — peut provoquer une intoxication saturnine ; cette intoxication, pour être lente, n'en serait pas moins grave.

« D'autre part, le procédé employé dans de telles conditions peut apporter une fausse sécurité dans une agglomération qui consommera de telles eaux, sans méfiance, et sans prendre d'autres précautions, et paiera de ce fait un plus lourd tribut à la fièvre typhoïde et à d'autres maladies d'origine hydrique. »

b) *Au point de vue physique*, l'eau chlorée ne présente pas la couleur d'un beau bleu azuré de l'eau ozonée.

c) *Au point de vue chimique*, le chlore attaque les matières minérales et se fixe partiellement par double décomposition sur celles qui présentent les caractères de basicité convenable.

d) *Au point de vue organoleptique*, la chloration modifie la composition chimique de l'eau, non pour l'améliorer, mais pour donner

à l'eau un goût de phénol ou d'iodoforme bien connu, en particulier dans certains quartiers de Paris, et, hélas, dans toute la banlieue parisienne.

VIII. — CONCLUSIONS.

Je désire ne pas terminer ce rapide exposé sans citer ici les noms de ceux qui ont été les pionniers de l'industrie de l'ozone : BERTHELOT, SORET, FREMY, et tout particulièrement celui de notre éminent collègue, M. le Professeur CHAPUIS.

Il me rappelait, il y a quelques instants à peine, qu'il soutenait en Sorbonne, il y a cinquante ans, une thèse sur l'Ozone, la première, dans laquelle il énumérait les résultats intéressants qu'il avait obtenus au cours de ses travaux. Que de chemin parcouru depuis!

M. André POSTEL-VINAY, ancien Président de la Société Française des Electriciens, suit depuis près de vingt ans mes efforts et mes travaux. Après avoir attaché son nom aux progrès de la grande industrie électrique, il s'est consacré avec moi au développement des applications de l'ozone pour le traitement des eaux.

C'est avec notre regretté collègue, M. LABOUR, dont notre Président vient d'annoncer le décès, que j'ai construit les premiers alternateurs à haute fréquence et les premiers transformateurs à haute tension. C'était au moment où je poursuivais moi-même mes recherches, dans les laboratoires de la Sorbonne, comme disciple du professeur FRIEDEL qui, avec WURTZ et BERTHELOT, peut être considéré comme l'un des fondateurs de la Chimie moderne, et du Professeur LIPPMANN, qui s'est illustré par ses travaux sur l'électricité, l'optique, et en particulier par sa magnifique découverte de la photographie des couleurs par la méthode des interférences.

Je n'aurais garde d'oublier, ceux qui depuis près de vingt ans ont été mes collaborateurs fidèles et immédiats, en particulier l'Ingénieur J. SENEQUIER, le chimiste J. LANTEAUME, aujourd'hui chef d'exploitation de la *Compagnie Générale de l'Ozone*, et tous mes collaborateurs actuels, MM. Pierre POSTEL-VINAY, REINMANN, GUEPARD, HEITZ, MOUSSELLE, COUVREUR, DUSSERT, CALLEY, directeur de la *Compagnie des Bois*, WILLIAM-MARTIN, chargé des services techniques de la *Compagnie française de Blanchiment électrique* et l'Ingénieur CABANIS, chargé de tout ce qui a trait aux applications industrielles de l'Ozone, tant en France qu'à l'étranger.

En Belgique, en Italie, en Roumanie, au Portugal, en Amérique du

Sud, des personnalités éminentes s'occupent à l'heure actuelle, avec beaucoup d'activité et d'énergie, de développer l'emploi de mes procédés.

Je tiens à leur adresser ici l'expression de ma reconnaissance.

Je vous ai montré quelques-unes des applications les plus intéressantes de l'ozone. Je n'ai pu, évidemment, les citer toutes, cela m'aurait entraîné beaucoup trop loin. J'ai tenu à rester dans le domaine des questions résolues d'une manière positive et des choses pratiquement réalisées.

Les producteurs et les distributeurs d'énergie électrique peuvent trouver dans les applications de l'ozone, d'intéressants débouchés pour la vente de leur courant.

Il est possible de concevoir des installations qui utilisent le courant en dehors des heures de pointe pour des opérations à réaliser soit dans l'industrie chimique, soit dans l'industrie des bois, soit dans celle du blanchiment.

En ce qui concerne les eaux potables, l'emploi des méthodes de stérilisation électrique est particulièrement indiqué.

L'électrification rurale répand, en effet, aujourd'hui l'énergie dans les coins les plus reculés de nos campagnes. Il existe de nombreuses agglomérations, grandes ou petites, qui n'ont pas d'eau potable. Elles peuvent en avoir à bon compte en réalisant des installations simples comportant :

un groupe moto-pompe qui puise l'eau dans une rivière ou dans un étang,

un filtre clarificateur,

et un appareil de stérilisation électrique.

Le refoulement de l'eau épurée dans un château d'eau, si cela est nécessaire, peut se faire également par l'électricité.

En dehors de ces applications, l'avenir en indiquera certainement d'autres présentant un égal intérêt.

L'ozone a donc marqué sa place d'une manière définitive dans le domaine industriel.

Bunsen avait écrit que lorsque l'ozone pourrait être produit industriellement, des centaines d'applications ne manqueraient pas de surgir. L'illustre Frémy avait ajouté : Il n'y a pas de découverte, dans la chimie moderne, qui soit plus importante que celle de l'ozone.

En effet, tous les phénomènes d'oxydation, quels qu'ils soient,

peuvent se rattacher d'une manière plus ou moins directe à l'industrie nouvelle.

Cela ne veut pas dire que l'ozone soit une panacée universelle. Mais je crois pouvoir affirmer que, dans bien des cas, cet agent merveilleux mis entre les mains d'industriels ou de chimistes habiles, pourra rendre les plus utiles services.

Il ne faut pas perdre de vue que les deux pierres angulaires qui servent de fondement à l'industrie nouvelle sont, d'une part *l'énergie électrique*, qu'elle provienne d'usines thermiques ou d'usines hydrauliques ; d'autre part *l'air* que nous respirons et qui constitue pour la fabrication de l'ozone une source d'oxygène inépuisable.

Sur des bases pareilles, on peut établir une œuvre durable, susceptible de développements intéressants.

TÉLÉPHONE AUTOMATIQUE RURAL ⁽¹⁾

Système CHAUVÉAU

Introduction.

Le Service téléphonique dans nos campagnes est actuellement assuré d'une façon plus ou moins convenable; bon nombre de bureaux ruraux sont ouverts quelques heures par jour et leur receveuse doit s'occuper des opérations postales et télégraphiques; il lui est ainsi assez difficile de répondre immédiatement à tous les appels et d'assurer un service téléphonique parfait.

On conçoit aisément que le téléphone rural puisse être grandement amélioré par l'utilisation d'appareils automatiques, permettant d'assurer le service téléphonique des villages à partir de bureaux centraux à service permanent; l'administration des P. T. T. l'a très bien compris

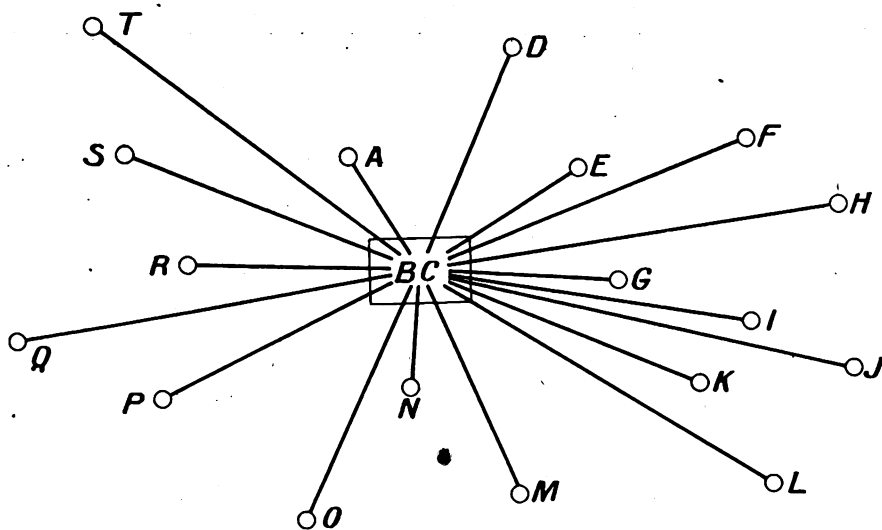


Fig. 1. — Réseau rural idéal.

et c'est pourquoi elle a établi un programme ou, plus exactement, une sorte de cahier des charges d'automatique rural sur lequel nous reviendrons tout à l'heure.

(1) Communication présentée par M. CHAUVÉAU à la Séance du 11 Janvier de la 5^e Section.

A priori, il semble que le problème du téléphone rural ne se pose pas et qu'il n'y ait qu'à installer dans chaque village un appareil automatique quelconque (tels que ceux utilisés par les services privés) et à réunir chacun des automatiques ruraux d'une même région à un bureau central à service permanent pour réaliser l'automatisme du réseau rural.

Ce procédé montré fig. 1 est évidemment idéal; malheureusement, il ne peut pas s'appliquer à notre réseau actuel.

Le réseau téléphonique français s'est développé à partir des grands centres pour s'étendre progressivement et il arrive fréquemment que la communication téléphonique entre un village et une ville de la même région s'établit à travers les bureaux de deux ou trois autres villages; la communication est ainsi donnée à travers une cascade de bureaux. La fig. 2 montre une région ainsi équipée et on se rend facilement compte que, pour atteindre le bureau central B. C., un bureau rural T devra passer par deux bureaux échelons S et R. De même, ce dessin montre qu'une communication entre un abonné du bureau H et un abonné du bureau L ne peut être obtenue qu'à travers les bureaux I, G et K.

Pour revenir au système téléphonique idéal, il serait nécessaire de

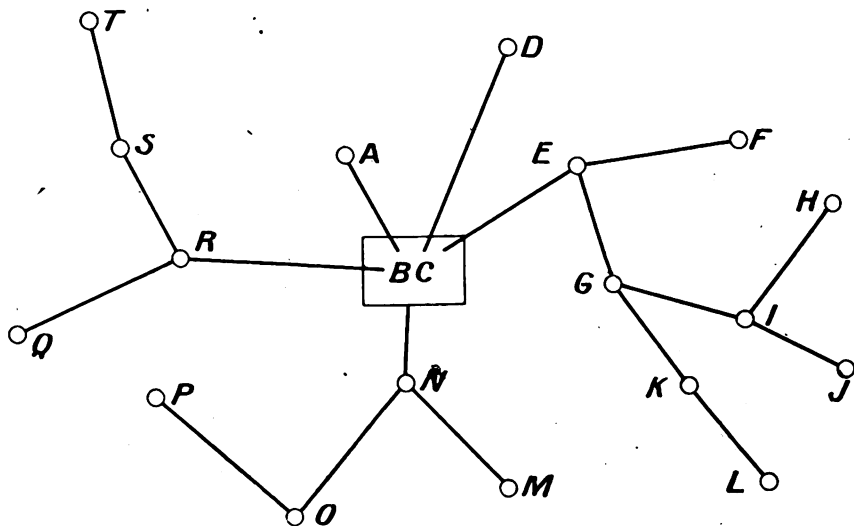


Fig. 2. — Réseau rural réel.

remplacer la plupart des circuits représentés fig. 2 et de les remplacer par des circuits directs entre les bureaux ruraux et le bureau central : on conçoit aisément à quelle dépense pourrait être entraînée l'Admi-

nistration des P. T. T. si elle adoptait cette solution; c'est pourquoi elle a demandé aux constructeurs d'étudier un système automatique susceptible d'être appliqué à un réseau suivant la fig. 2 et n'entraînant pas la modification des circuits téléphoniques existants.

Conditions générales.

Mais à côté de cette condition fondamentale de forme de réseau, un système téléphonique automatique doit, pour convenir au réseau rural français, satisfaire à d'autres conditions fixées par l'Administration :

L'appareil automatique devra être établi pour desservir des postes à batterie locale; ceux-ci, actuellement utilisés dans toutes les installations rurales, ne nécessitant pas un isolement parfait des lignes sur lesquelles ils sont montés.

L'appel du bureau central par un abonné rural se fera par la magnéto, l'abonné rural ne disposera pas de cadran d'appel et c'est l'opératrice du bureau central qui, par un cadran, actionnera le sélecteur de l'automatique rural et provoquera les connexions convenables pour une communication.

L'opératrice du bureau central doit pouvoir appeler dans un bureau rural deux postes de ce dernier bureau pour les mettre en communication locale et, pendant cette communication, le circuit entre le bureau local et le bureau central doit être libre pour permettre toute autre communication.

L'opératrice doit avoir à chaque instant le contrôle de la position des différents organes de l'automatique; des lampes d'appel et de fin de conservation doivent s'allumer au moment convenable.

La plupart des bureaux ruraux possèdent une cabine publique, celle-ci doit pouvoir être atteinte par l'opératrice et permettre d'appeler l'opératrice, même si le système automatique est en dérangement.

L'ensemble de l'équipement d'un réseau rural donné devra être tel qu'un abonné d'un bureau quelconque du dit réseau puisse être mis en communication avec un abonné d'un autre bureau quelconque du même réseau; dans ce cas, les portions de circuit libres entre les bureaux considérés et le bureau central devront être disponibles pour d'autres communications.

Les automatiques ruraux devront être alimentés, soit par des piles, soit par accumulateurs; dans ce dernier cas, un système automatique de charge devra être prévu.

De nombreuses précautions devront être prises pour éviter les faux appels, les défauts de libération et autres dérangements; en particulier,

l'opératrice devra disposer de moyens de libération lui permettant de mettre au repos un automatique engagé par suite d'une fausse manœuvre ou pour toute autre raison.

Comme on le voit par l'exposé ci-dessus, le problème de l'automatique appliqué au réseau rural français est très complexe, et, contrairement à ce qui pourrait être cru, il ne suffit pas, pour le résoudre, de prendre un système automatique quelconque et de le modifier. Il m'a paru préférable d'étudier un système complètement nouveau répondant au cahier des charges de l'Administration.

Dispositif d'appropriation et de commande.

L'automatique rural pose, d'une part, un problème de téléphone et, d'autre part, un problème de télécommande et de signalisation. Un dispositif classique permettant sur une même ligne la téléphonie et la télécommande ou même la télégraphie est celui connu sous le nom de « dispositif d'appropriation », réalisé par Cailhé et Picard il y a de nombreuses années; il consiste à intercaler en ligne, au départ et à l'arrivée, un translateur; le centre de la bobine des translateurs côté ligne est mis à la terre à travers les organes de télégraphie. Ainsi, le

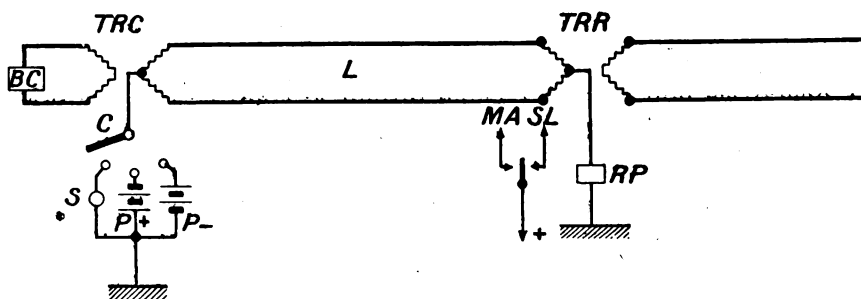


Fig. 3. — Dispositif d'appropriation.

circuit ligne translateur est utilisé pour les communications téléphoniques et le circuit ligne terre pour la télégraphie. On conçoit aisément que la télégraphie puisse être remplacée par un dispositif de télécommande.

En application de ce principe, nous utilisons le montage représenté fig. 3. Le centre de la bobine de ligne du translateur TRC du bureau central peut être mis à la terre, grâce au commutateur C, soit par les organes de signalisation S, soit par la pile P + soit par la pile P —.

Les piles $P +$ et $P -$ permettent d'envoyer en ligne, soit des impulsions positives soit des impulsions négatives.

Au bureau rural, le centre de la bobine de la ligne du translateur TRR est mis à la terre à travers un relais polarisé RP; celui-ci est muni d'un contact à deux directions; lors de la réception des impulsions positives, ce contact commande le sélecteur par la ligne SL; lors de la réception des impulsions négatives, ce contact commande par la ligne MA les différents organes de manœuvre et de libération.

Ainsi, ce dispositif d'appropriation, combiné avec le système de Télécommande par impulsions positives et négatives, assure, d'une part la sélection et, d'autre part, la commande des différentes manœuvres de mise en communication locale, d'intercommunication et de libération tout en permettant la signalisation.

Réunion directe des abonnés ruraux au bureau central.

Lorsque le bureau rural peut être réuni directement par une ligne au bureau central à service permanent, l'équipement automatique du bureau rural est représenté fig. 4.

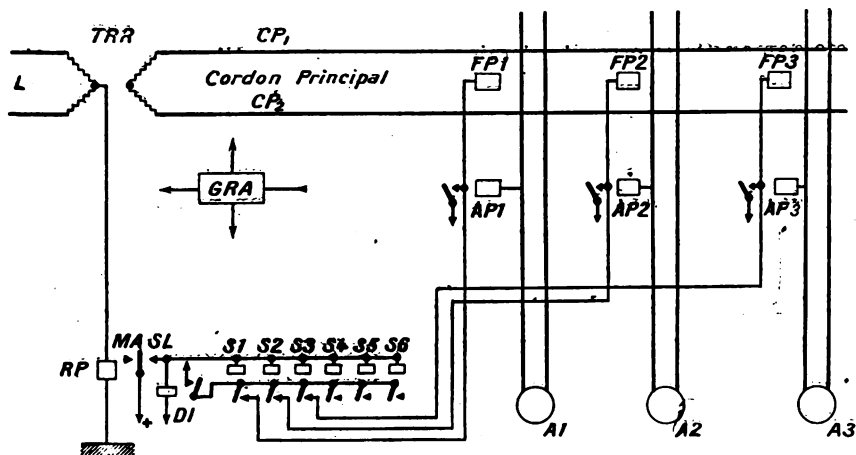


Fig. 4. — Communication ordinaire.

La ligne L aboutit au translateur TRR dont le second bobinage est réuni aux fils CP1 — CP2 formant le cordon principal; les abonnés A1 — A2 et A3 du bureau rural sont munis de postes à batterie locale, les lignes venant de ces postes peuvent être couplées au cordon principal par des relais fiches FP1 — FP2 — FP3.

Chacun des postes est représenté sur l'automatique par un relais d'appel AP1 — AP2 — AP3 qui entre en action lorsque l'abonné tourne sa magnéto; chaque relais d'appel commande le relais fiche correspondant. Il en résulte que, quand un abonné tourne sa magnéto, la ligne de cet abonné est couplée sur le cordon principal. En même temps, un groupe de relais auxiliaires GRA agit, d'une part pour envoyer un courant de signalisation sur la ligne L et, d'autre part, pour maintenir la connexion du poste appelant sur le cordon principal et empêcher les autres postes d'être couplés sur ce cordon.

On voit ainsi que l'abonné actionnant sa magnéto est mis directement en relation avec l'opératrice du bureau permanent qui peut lui donner toute communication demandée.

Inversement, si l'opératrice du bureau central veut appeler un abonné du rural pour lui donner une communication, elle place le commutateur C (fig. 3) sur la pile P +, puis, à l'aide d'un cadran d'appel intercalé dans ce circuit, envoie le train d'impulsions correspondant au numéro du poste désiré.

Ces impulsions positives agissent, au bureau rural, sur le relais RP qui, par son contact SL, commande le sélecteur formé par une cascade de relais; ces derniers s'enclenchent successivement et, finalement, le dernier relais de la cascade ferme le circuit de sélection du poste demandé; ce circuit est mis sous courant par l'intermédiaire d'un relais différé DI suivant le montage classique de commande des sélecteurs de téléphonie automatique.

Le circuit de sélection commande les relais fiche (FP1 à FP3) du poste appelé; celui-ci est aussi couplé sur le cordon principal; l'opératrice lance alors le courant d'appel qui actionne la sonnerie de l'abonné. La communication est ainsi établie entre l'abonné et l'opératrice qui procède à la mise en communication avec l'abonné demandeur. Naturellement, pendant ces communications, le groupe de relais auxiliaires GRA entre en action pour assurer la garde et l'isolement des circuits.

En fin de conversation, un signal est lancé sur la ligne L et, par le dispositif d'appropriation, fait fonctionner l'organe de signalisation G de la fig. 3. L'opératrice peut alors libérer le rural en envoyant une impulsion convenable soit à l'aide d'une clé spéciale soit en défichant un contact étant prévu à cet effet sur le jack.

Communication locale.

Lorsqu'un abonné d'un bureau rural désire communiquer avec un

autre abonné du même bureau, le demandeur actionne sa magnéto, ce qui a pour résultat de le mettre en relation avec l'opératrice du bureau central, ainsi qu'il vient d'être expliqué au paragraphe précédent.

L'équipement du bureau rural, pour permettre la communication locale, est réalisé comme indiqué fig. 5, c'est-à-dire que l'installation comporte, en plus du cordon principal, un cordon local spécial sur lequel chacun des abonnés peut être couplé par un relais fiche FL1 à FL3.

La mise en communication locale s'opère de la manière suivante : après avoir reçu la demande de mise en communication, l'opératrice prie le demandeur de raccrocher, ce qui libère l'automatique rural;

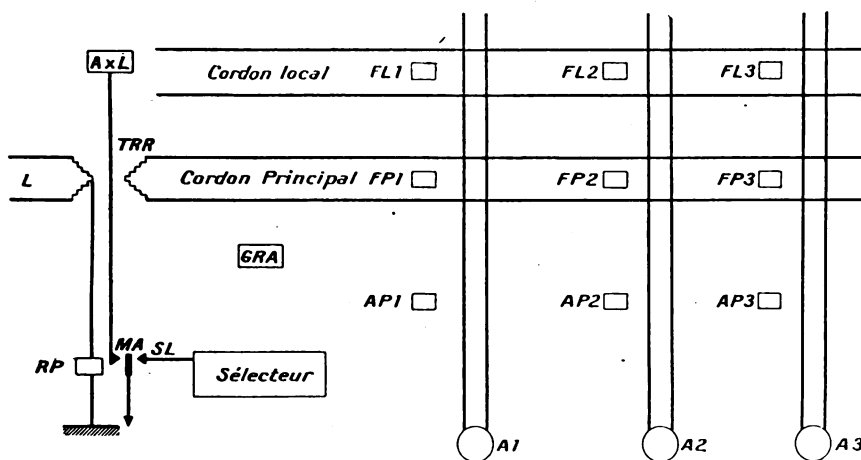


Fig. 5. — Communication locale.

elle place ensuite son commutateur C (fig. 3) sur la position P —; une impulsion négative est ainsi envoyée au relais RP, celui-ci ferme son contact MA ce qui a pour résultat de faire entrer en action le groupe de relais auxiliaires AXL du cordon local; ce groupe arme en quelque sorte le cordon local. L'opératrice appelle ensuite successivement chacun des deux postes sur le cordon principal comme il a été expliqué au paragraphe précédent; après chacun de ces appels, l'opératrice envoie une impulsion de libération qui, grâce à l'action combinée des relais AXL et du relais fiche FP du poste considéré, provoque l'excitation du relais FL de ce poste; le cordon principal est alors libéré.

On voit ainsi que deux abonnés d'un même bureau rural peuvent

être mis en communication par l'intermédiaire du cordon local et que, pendant leur conversation, le cordon principal et la ligne vers le bureau central restent disponibles pour les communications extérieures.

Le groupe AXL comporte, en outre, des relais permettant à l'opératrice de libérer à volonté le cordon local et d'intervenir dans la conversation, la libération du cordon local est également assurée automatiquement quand les abonnés raccrochent en fin de conversation.

Bureaux échelonnés.

Lorsqu'un automatique rural doit être utilisé pour desservir, non seulement ses propres abonnés, mais aussi un ou plusieurs autres bureaux placés en arrière par rapport au Bureau central, l'équipement de ce bureau intermédiaire est représenté fig. 6 :

En plus du cordon principal et du cordon local précédemment cités, l'installation comporte un cordon de jonction servant uniquement

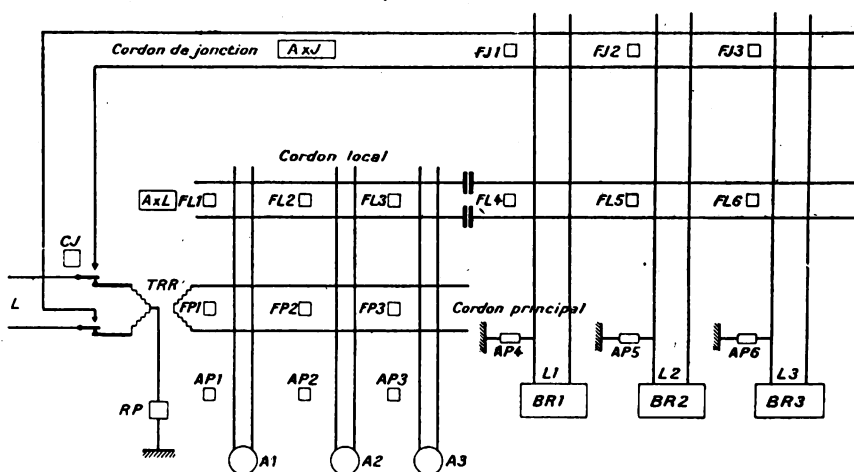


Fig. 6. — Cas de plusieurs Bureaux échelonnés sur un même circuit.

pour les communications entre le central et les autres bureaux à l'exclusion du bureau intermédiaire.

L'automatique représenté fig. 6 permet de desservir les abonnés A1 — A2 et A3 comme il a été expliqué précédemment; il permet en outre de réunir les lignes L1, L2, L3 venant des autres bureaux BR1, BR2, BR3, directement à la ligne L vers le bureau central par l'intermédiaire du cordon de jonction.

A cet effet, chacune des lignes L1, L2, L3, comporte respectivement un relais d'appel AP4, AP5, et AP6, ces relais sont d'une part à la ligne et d'autre part à la terre, il en résulte, par exemple, que lorsqu'un abonné du bureau BR1 appelle, les relais APL fonctionnent dans les mêmes conditions que le signal S de la fig. 3.

Ce relais AP1 commande le relais FJ1, ce dernier provoque le couplage de la ligne L1 sur le cordon de jonction; en même temps le relais CJ fonctionne et réunit directement le cordon de jonction à la ligne L. Le bureau BR1 se trouve ainsi directement relié au bureau central.

Chacune des lignes L1, L2, L3, est affectée d'un numéro sur le bureau auxiliaire tout comme un abonné de ce bureau; il en résulte que, si l'opératrice du bureau central veut appeler un abonné du bureau BR1, elle appellera d'abord la ligne L1 sur le bureau auxiliaire; cet appel se fera par le cadran d'appel; le sélecteur du bureau auxiliaire fonctionnera pour finalement provoquer l'excitation de FJ1; car les relais FJ1, FJ2, FJ3 peuvent être également commandés par les sélecteurs S4, S5, S6 de la fig. 4. L'opératrice est ainsi réunie au Bureau BR1 dont elle peut appeler un des abonnés à la manière normale.

Le cordon de jonction comporte un groupe de relais auxiliaires AJ assurant convenablement la garde, le secret et la libération.

Il est à remarquer que ce dispositif convient quel que soit pratiquement le nombre de bureaux auxiliaires échelons placés entre un bureau extrême et le bureau central, puisqu'à chaque échelon la liaison est faite directement sans interposition de translateur.

Dans le bureau auxiliaire considéré (fig. 6), une communication locale peut être établie entre un abonné du bureau auxiliaire et un quelconque des abonnés des bureaux BR1, BR2, BR3; à cet effet les lignes L1, L2, L3, peuvent être respectivement reliées au cordon local par les relais FL4, FL5 et FL6; cette mise en communication s'effectue grâce à l'action des relais AXL, exactement comme il a été expliqué au paragraphe « Communication Locale ».

De même, une communication locale peut être établie sur le cordon local du bureau auxiliaire entre des abonnés quelconques des bureaux BR1, BR2 et BR3; par exemple un abonné de BR1 pourra être réuni à un abonné de BR2 par le cordon local grâce à l'action des relais FL4 et FL5.

Circuits multiples.

En pratique, il arrive fréquemment qu'un bureau rural considéré soit réuni au bureau central ou au bureau précédent vers le central

par plusieurs lignes; dans ce cas, l'installation comporte autant de cordons principaux que de lignes. Pour que ces lignes puissent être utilisées rationnellement, des jeux de relais permettent de mettre en service le deuxième cordon principal quand le premier est occupé, le troisième quand les deux premiers sont occupés et ainsi de suite. Ces relais distributeurs agissent aussi bien dans le cas d'un appel du rural vers le central ou vice versa que dans le cas d'une mise en communication locale ou d'une communication de bureaux échelonnés.

Chercheurs d'appel à relais.

Quand un bureau rural dessert un petit nombre d'abonnés, cinq par exemple, il y a peu de chance pour qu'il puisse se produire plusieurs appels simultanés. Au contraire, si le bureau assure le service de dix ou vingt postes, il peut se produire assez fréquemment des appels simultanés. Il est bien évident que ceux-ci doivent être écoulés successivement.

A cet effet, nous avons réalisé un modèle de chercheur entièrement à relais; il est constitué par une chaîne de relais à enclenchement successif qui se met en marche automatiquement dès qu'un poste appelle et jusqu'à ce que le fil de sélection du poste appelant soit rencontré. Si plusieurs postes appellent simultanément, le fonctionnement de la chaîne s'arrête au premier poste appelant jusqu'à ce que cet appel soit desservi : le mouvement de la chaîne se continue alors jusqu'au poste suivant et ainsi de suite.

Grâce à ce dispositif, il n'y a plus de priorité d'appel en faveur des postes ayant les premiers numéros, la chaîne se mettant toujours en marche à partir du dernier poste desservi. Si, par exemple, les postes 1 et 5 appellent après une communication du poste 3, le 5 sera servi avant le 1. Au contraire, dans un système ne disposant pas de chercheur le poste 1 a continuellement la priorité sur les postes suivants, ce qui ne peut être admis dans un service public.

Alimentation.

Les relais utilisés dans le système décrit ci-dessus ont été établis pour 24 volts, leur consommation est minime et le nombre des relais en service au même instant a été réduit au strict minimum; en conséquence, les petits centraux ruraux desservant une dizaine d'abonnés pourront être alimentés par des piles sèches ou à liquide.

Pour les centraux plus importants (20 et 50 abonnés), l'alimentation

sera assurée par une batterie d'accumulateurs qui pourra être mise en charge automatiquement, soit par un voltmètre à minima, soit par une commande du sélecteur. Il existe de nombreux dispositifs de charge et nous ne les décrirons pas ici.

Toutefois, étant donné le fait que les bureaux comprenant vingt abonnés desservent généralement une localité importante, nous ne pensons pas que la question de la charge des accumulateurs, puisse poser un problème technique difficile à résoudre.

Conclusions.

Il est bien évident qu'un système entièrement à relais, dans le cas spécial du téléphone rural, doit être préférable à un système électro-mécanique; le relais consomme beaucoup moins lors de son fonctionnement que les chercheurs sélecteurs et autres organes nécessitent une certaine énergie pour déplacer des balais sur des bancs de contacts, c'est pourquoi l'alimentation des centraux ruraux à relais d'une dizaine de postes pourra être assuré par des piles.

Les systèmes électro-mécaniques comportent eux-mêmes un grand nombre de relais; mais du fait que les appareils à relais ne comportent aucun organe mécanique; on constate à leur usage qu'il n'y a pas d'usure et que les frais d'entretien restent constants après la mise en service et ceci pendant de nombreuses années.

Avec les systèmes électro-mécaniques, les frais d'entretien vont en croissant au fur et à mesure de l'usage et atteignent au bout de quelques années une très grande valeur; il s'ensuit qu'au bout d'une dizaine d'années la plupart des pièces d'un central électro-mécanique auront dû être remplacées, alors que l'expérience pratique a montré que des systèmes à relais pouvaient continuer à marcher dans de bonnes conditions après vingt ans de service.

L'emploi de systèmes électro-mécaniques peut se justifier dans les villes où l'entretien et le remplacement des pièces est facile; il n'en est pas de même dans les installations rurales fort souvent éloignées des grands centres.

En outre, il est vraisemblable que les systèmes automatiques ruraux quels qu'ils soient se perfectionneront; il en résultera que si dans quelques années, la fabrication des systèmes actuels est abandonnée, l'administration sera obligée de fabriquer elle-même les pièces de rechange nécessaires à l'entretien des modèles actuels; les pièces des organes électro-mécaniques sont très variées et nécessitent un outillage consi-

dérable, la dépense sera alors très élevée; au contraire, dans le cas du système à relais, étant donné le petit nombre des pièces utilisées et leur simplicité, les frais d'outillage pour la fabrication de pièces de rechange seront très réduits.

Partant du programme de l'Administration des P. T. T., nous nous sommes efforcés d'en remplir toutes les conditions et nous pensons y être parvenus. Les schémas détaillés de cet automatique, beaucoup plus complexes que les croquis ci-joints, ont été examinés en détail par les ingénieurs des P. T. T. Cet examen a été dans l'ensemble favorable; les essais de téléphonométrie entrepris sur les maquettes de circuits que nous avons fournies ont donné des résultats satisfaisants; un chercheur à relais soumis à de nombreux essais (100 000 appels) s'est très bien comporté et a montré la robustesse et la bonne tenue de réglage des relais employés.

L'équipement d'une région rurale va être réalisé et nous sommes convaincus que cette réalisation montrera que l'industrie française du téléphone est à même d'être comparée avantageusement à ses concurrentes étrangères.

Pour terminer, je tiens à rendre hommage ici à l'Office National des Inventions qui m'a permis de mettre au point les premières maquettes de ces appareils et ne m'a pas ménagé ses encouragements; à l'Administration des P. T. T. dont les différents services ont examiné avec bienveillance mes divers projets et à la Maison Plazolles (anciens établissements MAMBRET qui a construit les modèles et se charge actuellement de l'exploitation du système.

TRAVAUX DES SECTIONS

SOMMAIRE

- 3^e SECTION. — Le redresseur Rectox (M. M. LEBLANC), p. 207. — Les redresseurs à électrodes colloïdales (M. ANDRÉ), p. 208.
- 4^e SECTION. — Emploi des moteurs à cage d'écureuil (M. DE PISTOYE), p. 208. — Projet de réglementation concernant le courant de démarrage des moteurs à courant alternatif dans les installations électriques de première catégorie (M. FALLOU), p. 209.
- 5^e SECTION. — Le téléphone automatique rural (M. CHAUVÉAU), p. 213. — Les lampes à trois électrodes (M. JOUAUST), p. 214. — Le Taxiphone (M. DE LA MORICIERE), p. 215. — Les câbles télégraphiques sous-marins à charge continue (M. FALLOU), p. 215. — Les oscillations de l'énergie intrinsèque (MM. BUDEANU et LIÉNARD), p. 215. — Un appareil à lecture directe pour la mesure des champs magnétiques (M. DUPOUY), p. 220.

3^e SECTION

ÉLECTROCHIMIE. — ÉLECTROMÉTALLURGIE. — PILES. ACCUMULATEURS.

Président M. Charles MARIE.

SÉANCE DU 19 JANVIER 1929. — M. Maurice LEBLANC présente une communication sur « *Le redresseur Rectox* ».

L'auteur rappelle que le phénomène de redressement au contact entre deux solides est connu depuis longtemps mais que, jusqu'ici, on n'avait pu l'appliquer que pour des puissances très faibles (détecteurs à galène).

MM. GRONDAHL et GEIGER ont réalisé un redresseur dit « Rectox » utilisant un contact cuivre — oxyde de cuivre, qui permet de redresser des courants de 1 A sous 2 à 3 V par élément.

La théorie du fonctionnement de cet appareil n'est pas encore connue.

Les inventeurs supposent que le cuivre et l'oxyde sont séparés par une zone dont la teneur en métal diminuerait du cuivre vers l'oxyde, la densité d'électrons libres diminuant corrélativement.

Ceci expliquerait que la résistance opposée au courant dans le sens oxyde-cuivre est de l'ordre de 1 ohm, alors qu'elle est 1 000 fois plus grande dans le sens inverse.

Les maxima de puissance réalisés sont de 35 V, 40 A ou 10 000 V, 0,1 A. L'appareil convient particulièrement à la charge des batteries de T. S. F.

M. ANDRÉ, Ingénieur à la Société Radiotechnique présente une communication sur « *les redresseurs à électrodes colloïdales* ».

L'auteur rappelle les difficultés rencontrées dans la réalisation des redresseurs à anode colloïdale apparus dès 1925; actuellement, on est arrivé à les surmonter.

Il passe rapidement en revue les applications de cette valve et indique les possibilités d'en augmenter la puissance d'action (1).

4^e SECTION.

CANALISATION. — DISTRIBUTION GÉNÉRALE. — TRACTION.

Présidence de M. GRATZMULLER.

SÉANCE DU 6 DÉCEMBRE 1928. — *Emploi des moteurs à cage d'écureuil.*
— M. de PISTOYE rappelle les conclusions de sa communication sur le même sujet à la 1^{re} Section, à la semaine d'octobre : développement des moteurs à cage à l'étranger dû aux avantages de prix réduit et de robustesse de ces moteurs; opposition qui leur a été faite en France jusqu'à présent par les Secteurs, en raison de leur courant de démarrage élevé et des chutes de tension qui en résultent sur les réseaux; enfin nouvelles règles ministérielles (projet du 6 juin 1928) qui, tout en constituant dans l'ensemble une amélioration sur les règles actuelles, pourront paralyser encore dans bien des cas l'emploi des moteurs à cage.

M. de PISTOYE insiste sur la nécessité :

1° de réglementer le courant de démarrage des moteurs à cage, non seulement en fonction de la puissance normale de ces moteurs, mais aussi en fonction de la puissance de l'installation, les courants de démarrage tolérables allant évidemment en croissant avec la puissance de celle-ci.

2° de séparer nettement la réglementation applicable aux abonnés haute tension, dont les courants de démarrage sont rarement gênants, de celle relative aux abonnés basse tension, pour lesquels une réglementation plus stricte est nécessaire.

(1) Cette communication sera publiée *in extenso* dans un *Bulletin* ultérieur pour être discutée à la Semaine d'Octobre 1929.

M. de PISTOYE énonce ensuite une formule simple, applicable aux abonnés de basse tension, qui permettrait de concilier dans une large mesure les intérêts des secteurs et des usagers :

$$\frac{P_d}{P_n} = \left(1 + \frac{6}{P_i + 0,5}\right) \left(1 + \frac{P_i}{2,5P_n}\right),$$

dans laquelle :

P_d est la puissance maximum apparente de démarrage en kVA ;

P_n la puissance normale utile en kW ;

P_i la puissance normale en kVA de l'installation ;

puis il donne l'application de cette formule à des moteurs de 0,4 à 25 kW entrant dans des installations dont la puissance installée varie de 2 à 50 kVA, la puissance de l'installation étant définie par la puissance que peut transporter le feeder desservant l'abonné au point où est prise la dérivation qui alimente cet abonné.

Projet de réglementation concernant le courant de démarrage des moteurs à courant alternatif dans les installations électriques de première catégorie.

M. FALLOU confirme les observations de M. de PISTOYE sur la réglementation de l'U. S. E. encore en vigueur.

La nouvelle réglementation, qui doit être mise incessamment en accord avec les règles du 6 juin 1928 du Ministère des Travaux publics, avantage les moteurs de 1 à 5 kW ; pour les moteurs dont la puissance dépasse 5 kW, l'avantage est pratiquement nul et, entre 0,4 et 1 kW, la nouvelle réglementation est plus sévère que l'ancienne.

Réglementation américaine.

Le rapport R est :

Puissance en chevaux	Valeur de R
inférieure à 1 :	6,25
entre 1 et 2 :	5,9
— 2 et 5 :	4,72
— 5 et 30 :	2,4

Ces dispositions libérales, qui ont contribué au développement considérable des moteurs à cage en Amérique ont été facilitées par le développement des réseaux américains, très supérieur à celui des réseaux français.

Règlement allemand (1).

Le rapport R du courant de démarrage au courant normal est, pour les moteurs de 1,5 à 15 kW, fonction du nombre de pôles :

Nombre de pôles		Valeur de R
—		—
Moteurs	2 et 4	2,4
—	6 et 8	2,1
—	10 et 12	1,7

Ces règles, dictées par des nécessités de construction, sont plus libérales que les règles françaises.

Règlement de la Ville de Vienne.

L'emploi des moteurs à cage est autorisé jusqu'à la puissance de 7,5 kW, le rapport R étant limité à 7,2 fois le courant normal. Ce rapport est ramené à 2,4 par un démarrage étoile-triangle pour les puissances supérieures à 2,2 kW. D'autre part, le démarrage peut être direct pour des moteurs d'une puissance au plus égale à 2,2 kW, à condition que ceux-ci soient alimentés par des canalisations indépendantes du circuit d'éclairage.

Les caractéristiques libérales de ce règlement tiennent à la capacité du réseau.

Projet d'une nouvelle réglementation.

Il semble que, dans l'élaboration d'une réglementation plus large, il soit nécessaire de tenir compte :

- 1° de l'importance du réseau de distribution ;
- 2° du fait que l'abonné est desservi ou non par un transformateur spécial (abonné haute tension ou basse tension) ;
- 3° de la puissance du moteur rapportée à la puissance totale souscrite.

L'idée directrice de cette réglementation qui permet l'application plus étendue des moteurs à cage, très robustes et d'un entretien négligeable, est de ne créer, au moment des démarrages, que des chutes de tension supportables pour les voisins.

(1) E. T. Z., 21 juin 1926, Rosenberg.

Classification des abonnés tenant compte de l'importance du réseau.

Il semble logique :

A. — d'adopter la classification prévue dans le cahier des charges-type pour les distributions d'énergie électrique, approuvé par décret du 17 janvier 1928 (article 9).

1° distributions urbaines de plus de 4 000 kW, tolérance de tension : ± 5 pour cent.

2° distributions urbaines de moins de 4 000 kW, tolérance de la tension : ± 7 pour cent.

3° distributions rurales, tolérances de la tension : ± 10 pour cent.

B. — de distinguer dans chaque cas les abonnés en basse tension et les abonnés en haute tension, ce qui porterait à 6 le nombre de catégories d'abonnés.

Dans un but de simplification, on peut grouper dans la même catégorie :

a) les abonnés en basse tension des distributions urbaines de moins de 4 000 kW et ceux des réseaux ruraux.

b) les abonnés en haute tension des distributions urbaines de moins de 4 000 kW et des réseaux ruraux avec les abonnés basse tension des réseaux urbains de plus de 4 000 kW, soit au total trois groupes.

Puissance du moteur rapportée à la puissance totale souscrite.

Le rapport R de la puissance apparente de démarrage à la puissance utile sur l'arbre du moteur peut être définie par une formule de la forme :

$$R = K \frac{A + \frac{P_s}{P_m}}{A + 1},$$

dans laquelle K dépend de la puissance du moteur et de celle du réseau.

P_s est la puissance totale souscrite ;

P_m la puissance normale absorbée par le moteur ;

A un paramètre à déterminer :

Pour fixer la valeur de A, il semble équitable d'admettre un courant de démarrage 2 fois plus élevé si la puissance du moteur est seulement le quart de la puissance souscrite; la formule devient :

$$R = \frac{2 + \frac{P_s}{P_m}}{3}.$$

Coefficient K.

1° Pour les abonnés en basse tension des réseaux urbains de moins de 4 000 kW et des réseaux ruraux, on doit laisser la possibilité :

- a) du démarrage direct des moteurs à simple cage jusqu'à 0,75 kW;
- b) du démarrage direct des moteurs à cages multiples de 0,75 à 1 kW;
- c) du démarrage étoile-triangle des moteurs à simple cage de 1,5 à 5 kW;
- d) du démarrage étoile-triangle des moteurs à cages multiples de 5 à 15 kW;

ce qui conduit aux valeurs suivantes de K :

Puissance du moteur en kilowatts	Valeurs de K	Démarrage possible
—	—	—
0,4 à 0,75	11	Direct simple cage
0,75 à 1,5	6	Direct cages multiples
1,5 à 5	3,7	Etoile-triangle simple cage
5 à 15	2,2	Etoile-triangle cages multiples,
au-dessus de 15	1,8.	

2° Pour les abonnés en haute tension des réseaux urbains de moins de 4 000 kW, les abonnés des réseaux ruraux en haute tension et les abonnés en basse tension des réseaux urbains de plus de 4 000 kW, on doit permettre :

- a) le démarrage direct des moteurs simple cage jusqu'à 1,5 kW;
- b) le démarrage direct des moteurs à cages multiples de 1,5 à 5 kW;
- c) le démarrage étoile-triangle des moteurs à simple cage de 5 à 15 kW;

Puissance du moteur en kilowatts	Valeurs de K	Démarrage possible
—	—	—
0,4 à 0,75	11	Direct à simple cage
0,75 à 1,5	9	Direct à simple cage
1,5 à 5	5,2	Direct à cages multiples
5 à 15	3,1	Etoile-triangle simple cage,
au-dessus de 15	2.	

3° Enfin, pour les abonnés en haute tension des réseaux urbains de plus de 4 000 kW, nous avons admis :

- a) le démarrage direct des moteurs à simple cage jusqu'à 5 kW;
 b) le démarrage direct des moteurs à cages multiples de 5 à 15 kW;

Puissance du moteur en kilowatts	Valeurs de K	Démarrage possible
—	—	—
0,4 à 0,75	11	Direct simple cage
0,75 à 1,5	9	Direct simple cage
1,5 à 5	8,5	Direct simple cage
5 à 15	8,2	Direct cages multiples,
plus de 15	2,5.	

L'exposé ci-dessus conduit au tableau final ci-après, donnant les valeurs de K :

Puissance du moteur	0,4 à 0,75 kW	0,75 à 1,5 kW	1,5 à 5 kW	5 à 15 kW	plus de 15 kW
—	—	—	—	—	—
Réseaux urbains de moins de 4 000 kW et réseaux ruraux :					
Abonnés basse tension. .	11	6	3,7	2,2	1,8
Abonnés haute tension. .	11	9	5,2	3,1	2
Réseaux urbains de plus de 4 000 kW :					
Abonnés basse tension. .	11	9	5,2	3,1	2
Abonnés haute tension. .	11	9	8,5	5,2	2,3

M. GRATZMULLER demande à MM. de PISTOYE et FALLOU de bien vouloir se mettre d'accord pour une rédaction unique à soumettre au Bureau de la Société française des électriciens, en vue d'être transmise à l'Union des Syndicats de l'Electricité.

5^e SECTION. — TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. TRANSMISSIONS PAR ONDES

Président : M. REYNAUD-BONIN.

SÉANCE DU 11 JANVIER 1929. — M. CHAUVÉAU présente une communication sur : *le téléphone automatique rural* (1). — M. JOUAUST présente une communication sur « les lampes à 3 électrodes », dont le résumé est donné ci-après :

(1) Cette communication est publiée *in extenso* page 195 du présent *Bulletin*.

M. JOUAUST, avant d'indiquer les progrès récents réalisés dans la technique de la fabrication des lampes à trois électrodes, croit devoir signaler certaines particularités du fonctionnement de ces appareils dont il est nécessaire de tenir compte dans leur emploi. Il parle tout d'abord des émissions secondaires. Lorsqu'un électron rencontre une plaque métallique, la vitesse de l'électron étant supérieure à celle qu'il peut acquérir sous une tension d'une trentaine de volts, il est susceptible de donner naissance à une émission secondaire.

Le nombre d'électrons secondaires émis par le choc d'un électron primaire varie avec la vitesse et, par suite, avec la tension d'impact. Il varie également avec la nature du métal, plus important pour les métaux oxydés que pour les métaux polis, faible pour les métaux recouverts d'une couche de noir de platine.

Il ne suffit pas du reste qu'il puisse y avoir émission secondaire pour que cette émission ait lieu. Il faut encore que ces électrons se trouvent soumis à un potentiel accélérateur. Il peut même arriver que ce potentiel accélérateur existant, tous les électrons secondaires ne puissent être émis si déjà des électrons primaires créent une charge d'espace telle qu'elle détruise l'action du potentiel accélérateur.

M. JOUAUST parle ensuite du phénomène de cathode virtuelle étudié par Prince et Trenk et qui se produit entre la grille et la plaque d'une lampe lorsque la tension plaque est inférieure à la tension grille. Il montre que par la considération des cathodes virtuelles, on peut expliquer les phénomènes de relais réalisés avec les lampes bigrilles.

M. JOUAUST passe ensuite en revue les divers modèles de lampes réalisés récemment.

Il signale que les lampes écrans conviennent surtout pour l'amplification par résonance.

Il indique que les phénomènes d'émissions secondaires qui limitent la puissance qu'on peut tirer des lampes de puissance et des émetteurs à lampes, peuvent être combattus par des écrans convenablement disposés.

Il mentionne à ce sujet la lampe à deux grilles d'un kilowatt, réalisée par Prince à la General Electric Company et les lampes trigrilles qui évitent les émissions secondaires et participent également de la propriété des lampes écrans à grande résistance interne. Ces lampes conviennent à l'alimentation des hauts parleurs.

Pour terminer, M. JOUAUST signale les lampes à faible résistance in-

terne et montre comment l'emploi de lampes à filament recouvert d'oxyde ou à chauffage indirect a permis la réalisation de semblables lampes.

M. de LA MORICIÈRE, présente une communication sur « le taxi-phone » (1).

6^e SECTION

RECHERCHES PHYSIQUES. — PHYSIOLOGIE. — APPAREILS DE MESURE.

Président M. LIÉNARD.

SÉANCE DU 15 DÉCEMBRE 1928. — « La Puissance réactive et les oscillations de l'énergie intrinsèque ».

M. Budeanu nous a communiqué la note suivante à propos des objections présentées par M. Liénard à la séance du 12 juillet 1928 de la 6^e Section sur « le problème de la puissance réactive ». (1).

On a présenté comme un exemple d'impossibilité de rattacher la notion de puissance réactive à la variation de l'énergie intrinsèque, le cas d'un circuit doué de self-inductance et de mutuelle inductance, et caractérisé, par conséquent, par la relation :

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} + M \frac{di'}{dt},$$

avec les valeurs de i et i'

$$i = \sqrt{2} I \cos \omega t \quad \text{et} \quad i' = \sqrt{2} I' \cos (\omega t - \theta).$$

La puissance réactive mise en jeu étant

$$L\omega I^2 - M\omega I I' \cos \theta$$

et la puissance instantanée transmise à L et M étant :

$$u i \quad R i^2 = - (L\omega I^2 + M\omega I I' \cos \theta) \sin 2\omega t + M\omega I I' \sin \theta (i + \cos 2\omega t)$$

on a conclu que l'apparition du terme $M\omega I I' \sin \theta$, tout différent de la puissance réactive, rend impossible la généralisation, ou tout au moins l'application à ce cas de la corrélation entre la notion de puissance réactive et la variation instantanée de l'énergie intrinsèque.

Nous croyons pourtant, que même dans le cas plus haut examiné, on retrouve la relation entre la puissance réactive et la variation de l'énergie intrinsèque.

(1) Cette communication est publiée *in extenso* dans un *Bulletin* ultérieur.

(1) *Bulletin de la S. F. E.* d'août 1928, tome VIII, 4^e série, p. 881.

En effet, le terme en $M\omega II' \sin \theta$ a ses valeurs instantanées de la forme :

$$M\omega II' \sin \theta (1 + \cos 2\omega t) = M\omega II' \sin \theta \times 2 \cos^2 \omega t$$

et par conséquent de la même forme que :

$$Ri^2 = RI^2 \times 2 \cos^2 \omega t.$$

Les deux termes sont des puissances *instantanées permanentes* conduisant aux *puissances réelles* : RI^2 , consommée dans la résistance, R et $M\omega II' \sin \theta$ transmise à travers la mutuelle inductance M .

La moyenne de $ui - Ri^2$ est justement $M\omega II' \sin \theta$, c'est-à-dire la *puissance réelle* transmise du circuit 1 au circuit 2.

D'ailleurs, la puissance instantanée $p = ui$ transmise à notre circuit peut se mettre définitivement sous la forme :

$$p = ui = (RI^2 + M\omega II' \sin \theta) 2 \cos^2 \omega t - (L\omega I^2 + M\omega II' \cos \theta) \sin 2\omega t,$$

le premier terme conduisant à la puissance réelle :

$$p = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = RI^2 + M\omega II' \sin \theta,$$

et le second caractérisé par la notion de puissance réactive

$$P_r = L\omega I^2 + M\omega II' \cos \theta.$$

Les termes en RI^2 et $M\omega II' \sin \theta$ n'étant pas de nature réactive ne modifient en rien les conclusions sur cette notion.

Nous rappelons même qu'en exprimant sous une forme plus générale les lois des deux circuits liés par la mutuelle inductance M , et exprimées sous la forme classique :

$$(1) \quad \begin{cases} u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}, \\ 0 = u_2 + R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}, \end{cases}$$

avec les valeurs de i_1 , i_2 , u_1 , u_2 :

$$\begin{aligned} i_1 &= \sqrt{2} I_1 \cos \omega t, \\ i_2 &= \sqrt{2} I_2 \cos (\omega t - \theta), \\ u_1 &= \sqrt{2} U_1 \cos (\omega t + \varphi_1), \\ u_2 &= \sqrt{2} U_2 \cos (\omega t - \theta + \varphi_2), \end{aligned}$$

on arrive aux principales conclusions suivantes :

a) En multipliant la première équation de (1) par i_1 et la seconde par i_2 et en faisant la moyenne on obtient :

$$U_1 I_1 \cos \varphi_1 = R_1 I_1^2 + M\omega I_1 I_2 \sin \theta.$$

$$M\omega I_1 I_2 \sin \theta = R_2 I_2^2 + U_2 I_2 \cos \varphi_2,$$

On retrouve donc que $M\omega I_1 I_2 \sin \theta$ est la puissance réelle transmise à travers M ,

b) En multipliant la première équation de (1) par :

$$j_1 = \sqrt{2} I_1 \sin \omega t$$

et la seconde par :

$$j_2 = \sqrt{2} I_2 \sin (\omega t - \theta)$$

on obtient :

$$\begin{aligned} U_1 I_1 \sin \varphi_1 &= L_1 \omega I_1^2 + M \omega I_1 I_2 \cos \theta, \\ 0 &= U_2 I_2 \sin \varphi_2 + L_2 \omega I_2^2 + M \omega I_1 I_2 \cos \theta, \end{aligned}$$

et par conséquent :

$$U_1 I_1 \sin \varphi_1 = L_1 \omega I_1^2 + L_2 \omega I_2^2 + 2 M \omega I_1 I_2 \cos \theta + U_2 I_2 \sin \varphi_2.$$

Nous rappelons même que M. Boucherot nous a montré que cette dernière équation peut se mettre aussi sous la forme

$$U_1 I_1 \sin \varphi_1 = l_1 \omega I_1^2 + l_2 \omega I_2^2 + M \omega \frac{n_1}{n_2} I_m^2 + U_2 I_2 \sin \varphi_2,$$

où l_1 et l_2 sont les self-inductances des fuites définies par

$$l_1 = L_1 - \frac{n_1}{n_2} M \quad \text{et} \quad l_2 = L_2 - \frac{n_2}{n_1} M,$$

I_m la composante magnétisante du courant I_1 ; n_1 et n_2 les nombres des spires, ce qui nous met en évidence le principe de conservation de la puissance réactive dans ce cas.

Par conséquent, nous estimons que la présence du terme en $M\omega I_1 I_2 \sin \theta$ n'a rien à faire avec l'oscillation de l'énergie intrinsèque. Ses variations étant de la forme $M\omega I_1 I_2 \sin \theta \cos^2 \omega t$ sont de nature permanente, elles ne sont pas dues à une variation d'énergie intrinsèque. Celle-ci produit par ses oscillations exclusivement les puissances instantanées :

$$(L\omega I_1^2 + M\omega I_1 I_2 \cos \theta) \sin 2\omega t$$

caractérisées par la notion de puissance réactive

$$L\omega I_1^2 + M\omega I_1 I_2 \cos \theta$$

et qui est en même temps la puissance apparente correspondante à ces puissances instantanées. D'une manière tout à fait analogue, la puissance réelle $R I_1^2 + M\omega I_1 I_2 \sin \theta$ est la puissance apparente correspondant aux puissances instantanées :

$$(R I_1^2 + M\omega I_1 I_2 \sin \theta) \cos^2 \omega t.$$

2° Nous sommes parfaitement d'accord avec les remarques de M. Liénard sur les notions de « puissances réactives instantanées » que l'on a essayé de définir sous la forme :

$$\omega i \varphi \quad \text{ou bien} \quad -\omega q u.$$

De pareilles notions ne correspondent pas physiquement à la notion de puissance réactive.

C'est dans cet ordre d'idées que nous avons pensé que la réalité physique correspondant à la notion de puissance réactive et que cette notion doit caractériser, consiste plutôt dans la présence des puissances instantanées dues à l'oscillation de l'énergie intrinsèque.

C'est un critérium, qui pourrait nous être utile, à notre avis, assez souvent.

Réponse de M. LIÉNARD.

M. BUDEANU écrit la relation des puissances sous la forme

$$ui = (RI^2 + M\omega II' \sin \theta) 2 \cos^2 \omega t - (L\omega I^2 + M\omega II' \cos \theta) \sin 2\omega t \quad (1)$$

et estime que les deux premiers termes (en RI^2 et $M\omega II' \sin \theta$) ayant un signe constant doivent être traités de même et que le troisième terme représente seul la partie oscillante de l'énergie, partie ne dépendant bien que de la quantité $(L\omega I^2 + M\omega II' \cos \theta)$ qui est la puissance réactive.

En adoptant le mode de raisonnement ci-dessus on pourrait tout aussi bien dire ceci :

Mettons l'équation (1) sous la forme :

$$\left. \begin{aligned} ui &= RI^2 2 \cos^2 \omega t + M\omega II' \sin \theta, \\ &- L\omega I^2 \sin 2\omega t - M\omega II' \sin (2\omega t - \theta). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Les deux premiers termes conservant comme tout à l'heure un signe constant, le même mode de raisonnement permettrait de conclure que l'énergie oscillante est :

$$- L\omega I^2 \sin 2\omega t - M\omega II' \sin (2\omega t - \theta).$$

Elle ne dépendrait plus de la puissance réactive $L\omega I^2 + M\omega II' \cos \theta$ comme le désire M. Budeanu.

En réalité, le raisonnement n'est pas meilleur dans un cas que dans l'autre : ce n'est pas parce qu'elle a un signe constant que la puissance $RI^2 2 \cos^2 \omega t$ doit être mise à part : c'est parce qu'elle représente la partie de ui transformée sous forme de chaleur, tandis que les autres termes se rapportent à la transformation sous forme d'énergie magnétique : le terme $M\omega II' \sin \theta \cos^2 \omega t$ ne doit pas être séparé du terme :

$$- (L\omega I^2 + M\omega II' \cos \theta) \sin 2\omega t.$$

M. BUDEANU répondra peut-être que la puissance ui se partage en trois parties et non pas en deux : en plus du dégagement de chaleur

et de l'emmagasinement d'énergie dans le champ magnétique, il y a l'énergie transmise, grâce à l'induction mutuelle, du primaire au secondaire.

Je pourrais d'abord répondre que l'énergie transmise d'un circuit à l'autre passe par la forme d'énergie magnétique, conformément aux conceptions modernes.

Mais il n'est même pas nécessaire de supposer que toute l'énergie transmise d'un circuit à l'autre passe sous cette forme intermédiaire. Il est en effet impossible de supposer, pour la puissance instantanée qui serait transmise directement d'un circuit à l'autre, (c'est-à-dire sans passer sous la forme d'énergie du champ magnétique), l'expression :

$$M\omega I I' \sin \theta_2 \cos^2 \omega t \quad (3)$$

qui figure à l'équation (1). Car, par symétrie, la puissance instantanée transmise du second circuit au premier serait (changement de ωt en $\omega t - \theta$ et de θ en $-\theta$) :

$$- M\omega I I' \sin \theta_2 \cos^2 (\omega t - \theta) \quad (4)$$

Or, ces quantités ne sont pas constamment égales et de signe contraire, mais le sont seulement en moyenne. Donc (3) et (4) ne peuvent représenter un échange direct d'énergie entre les deux circuits :

À l'inverse, le terme $M\omega I I' \sin \theta$ qui figure dans (2) pourrait, sans contradiction, représenter l'échange d'énergie instantanée, mais la décomposition (2) ne correspond pas comme nous l'avons vu à une expression de l'énergie oscillante dépendant de la seule puissance réactive.

Voici encore quelques considérations, qui diffèrent du reste plus par la forme que par le fond de celles qui précèdent :

L'énergie emmagasinée dans le champ magnétique des deux circuits, à un moment où les courants ont les valeurs i et i' est :

$$W = \frac{1}{2} L i^2 + M i i' + \frac{1}{2} L' i'^2.$$

Remplaçant i et i' par leurs expressions en fonction du temps, savoir

$$i = I\sqrt{2} \cos \omega t, \quad i' = I'\sqrt{2} \cos (\omega t - \theta)$$

il vient

$$W = \underbrace{\frac{1}{2} L I^2 + M I I' \cos \theta + \frac{1}{2} L' I'^2}_A + \underbrace{\frac{1}{2} L I^2 \cos 2\omega t + M I I' \cos (2\omega t - \theta) + \frac{1}{2} L' I'^2 \cos (2\omega t - 2\theta)}_B.$$

A est un terme constant qui représente la valeur moyenne de W ; le produit $2A\omega$ est précisément la puissance réactive absorbée par l'appareil. Quant à B, on peut le mettre sous la forme :

$$K \cos (2\omega t - \psi).$$

Le déphasage ψ est donné par une relation qu'il est sans intérêt d'écrire. Quant à K, on vérifie facilement qu'il est compris entre 0 et A en valeur absolue, car on a :

$$A^2 = K^2 + (LL' - M^2)I^2I'^2 \sin^2 \theta. \quad (5)$$

On aurait
$$K = \pm A \quad \text{pour} \quad \theta = \begin{cases} 0 \\ \pi \end{cases}.$$

Alors la partie oscillante de l'énergie magnétique [partie représentée par $K \cos (2\omega t - \psi)$] aurait une oscillation d'amplitude A. Inversement, on pourrait rendre K nul en choisissant I, I' et θ tels que :

$$\frac{LI^2}{1} = \frac{MI I'}{-\cos \theta} = \frac{LI'^2}{1}. \quad (6)$$

Dans ce cas il n'y a plus aucune variation de l'énergie du champ magnétique et pourtant la puissance réactive n'est pas nulle.

Enfin pour tout régime autre que ceux caractérisés par $\sin \theta = 0$ ou par (5), K a une valeur quelconque comprise entre 0 et A. Il n'y a aucune relation entre l'importance de la puissance oscillante et la puissance réactive.

On peut cependant remarquer que, même si K est nul et qu'il n'y ait aucune variation de l'énergie intrinsèque totale, la répartition de celle-ci entre les divers points du champ est variable.

M. DUPOUX présente une communication sur un *appareil à lecture directe pour la mesure des champs magnétiques* (1).

Cet appareil utilise l'action des champs magnétiques sur les cristaux magnétiquement anisotropes, en l'espèce sur les cristaux de sidérose.

L'auteur donne la théorie et la description de l'appareil qui permet, entre autres résultats, de relever très rapidement par lecture directe sur un cadran, la topographie d'un champ magnétique et d'explorer en particulier l'entrefer d'une machine.

(1) Cette communication, présentée à la Séance mensuelle de la Société du 2 Février, sera publiée *in extenso* dans un *Bulletin* ultérieur.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ ⁽¹⁾

ELECTROCHIMIE-ÉLECTROMÉTALLURGIE.

L'aluminium et ses alliages, édité par *L'aluminium français*, 26 bis, rue de Balzac, à Paris. Un volume relié de 21^{cm} × 14^{cm} de 124 pages. *Don de l'éditeur.*

APPAREILLAGE-CANALISATIONS.

Encyclopédie du caoutchouc et des industries qui s'y rattachent, éditée par la *Revue générale du caoutchouc*, 18, rue Duphot, à Paris. Un volume relié 27^{cm} × 29^{cm} de 470 pages. *Don de l'éditeur.*

Essais d'interrupteurs dans l'huile, par l'Union des Syndicats de l'Electricité, 25, Boulevard Malesherbes, à Paris, 8^e. Deux fascicules brochés 27^{cm} × 22^{cm} de 136 pages. *Don de l'Union des Syndicats de l'Electricité.* 1927.

Comment utiliser l'électricité dans la maison, par MAURER, Ingénieur à la Compagnie Parisienne de Distribution d'Electricité. Professeur à l'école d'électricité Bréguet, et à l'école de mécanique et d'électricité industrielle. Édité par Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris VI. Un volume broché de 21^{cm} × 14^{cm} 164 pages. *Don de l'éditeur.*

FORMULAIRES. — AIDE-MÉMOIRE-MANUELS.

Nouveau dictionnaire anglais-français français-anglais, par CLIFTON et J.-M. LANGLELIN, édité par Garnier frères à Paris, 6, rue des Saints-Pères. Un volume relié de 14^{cm} × 10^{cm} 490 pages. *Don de MM. les éditeurs.* Prix 18 francs.

Nuevo diccionario francés-espagnol y espagnol-francés, par VICENTE SALVA, édité par Garnier f^{rs} à Paris, 6, rue des Saints-Pères. Un volume relié de 14^{cm} × 10^{cm} 444 pages. *Don de MM. les éditeurs.* Prix 18 francs.

Nouveau dictionnaire français-italien et italien-français, par P. ROUEDE et LACOMBE, édité par Garnier f^{rs} à Paris, 6, rue des Saints-Pères. Un volume relié de 18^{cm} 1/2 × 12^{cm} 1/2, 768 pages. *Don de MM. les éditeurs.* Prix 28 francs.

Nouveau dictionnaire allemand français et français-allemand, par K. ROTTECK, G. KISTER, MENSCH, édité par Garnier frères à Paris, 6, rue des Saints-Pères. Un volume relié de 18^{cm} 1/2 × 12^{cm} 1/2, 500 pages. *Don de MM. les éditeurs.* Prix 28 francs.

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société Française des Electriciens, 14, avenue Pierre-Larousse, de 14 à 18 heures, tous les jours, sauf le Dimanche.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

*Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques
françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.*

RECHERCHES PHYSIQUES

Hochspannungs technik, par le Dr ARNOLD ROTH. Julius Springer, éditeur, Berlin 1927.

La technique des hautes tensions a accompli depuis une dizaine d'années des progrès si rapides que la littérature ne permet pas de les embrasser dans leur généralité ; on ne trouve guère sur ce sujet que des études fragmentaires et spécialisées. Aussi l'ouvrage de M. Roth qui présente de ce domaine capital de l'électrotechnique une vue d'ensemble clairement ordonnée et appuyée sur une documentation extraordinairement abondante mérite-t-il de susciter un intérêt exceptionnel.

Après une introduction où sont résumées les lois du champ électrique, l'auteur précise les propriétés des principaux matériaux isolants utilisés pour la haute tension. Il passe en revue d'abord les corps solides (produits céramiques, papiers imprégnés ou bakélisés, micanite, etc.) ; et, à ce propos, M. A. Roth souligne l'importance des pertes diélectriques, cause d'échauffements susceptibles de provoquer la disruptive. Sur le mécanisme même de la disruptive, il indique la théorie de W. Wagner, mais sans y adhérer complètement. Tout un chapitre est ensuite consacré aux huiles isolantes, sujet complexe où subsistent encore bien des points obscurs. Puis l'auteur, passant aux isolants gazeux, étudie les différentes phases de la décharge électrique dans l'air (effluves, aigrettes, étincelles). Après avoir rappelé les théories physiques qui permettent d'expliquer et d'interpréter ces phénomènes, il insiste sur l'effet couronne et analyse en détail la décharge par étincelles. La question des isolants composites (isolants solides au contact de l'air ou de l'huile) occupe les deux chapitres qui suivent. L'étude de la réfraction des lignes de forces à la jonction de deux milieux de pouvoirs inducteurs spécifiques différents, la contrainte électrique qui en résulte, la répartition des potentiels dans les isolateurs, et, en particulier, le long des bornes et des traversées, tous ces problèmes, difficiles et d'une si grande importance pratique, sont nettement posés et résolus aussi complètement que l'état de nos connaissances le permet.

Dans la seconde moitié du livre, M. A. Roth aborde l'étude des réseaux à haute tension. Après un résumé des notions fondamentales, relatives aux oscillations électriques, il analyse à fond les perturbations qui peuvent se produire sur les lignes (résonance d'harmoniques, surtensions et surintensités, ondes à front raide). Puis viennent les troubles d'origine atmosphérique et les coups de foudre. A propos des garanties de sécurité à exiger dans les installations, la question des essais à haute tension se trouve naturellement posée. L'auteur y consacre un chapitre bref, mais substantiel, où sont décrits, outre les essais de rigidité diélectrique ou de contournement, les mesures des pertes, les essais au choc électrique et les épreuves en haute fréquence. Le problème très actuel des interrupteurs à huile est exposé succinctement, mais d'une façon claire et précise, après un préambule où sont utilement rappelées les notions relatives à l'arc électrique dans l'air et dans l'huile. A cette question se rattache celle des courts-circuits dans les réseaux ; un chapitre y est réservé avec des indications théoriques et pratiques sur l'intensité des courants de court-circuit et sur les effets qui

en résultent (efforts mécaniques, échauffements, etc.). Le volume se termine par un aperçu général sur les installations à haute tension (depuis les génératrices jusqu'aux lignes de transport de force) avec des données particulièrement intéressantes sur l'appareillage.

Cette rapide nomenclature ne donne qu'une idée bien incomplète de l'ampleur avec laquelle l'auteur a traité son vaste sujet, de la multitude de renseignements précieux qu'il a su grouper en les éclairant à la lumière de sa propre expérience et de ses vues personnelles. Il nous reste à souhaiter qu'une édition de ce magistral ouvrage, publiée dans notre langue, en rende la lecture plus accessible aux ingénieurs français.

ELECTROCHIMIE. — ELECTROMÉTALLURGIE

L'électrochimie et l'électrométallurgie, par Albert LEVASSEUR, Ingénieur, Professeur à l'école supérieure, de fonderie Un vol 17^{cm} × 25^{cm} 360 pages, 128 figures. Dunod éditeur. Prix, 69 francs.

Dans cet ouvrage destiné aux ingénieurs, M. Levasseur, éminent professeur dans plusieurs grandes écoles, a réuni à la fois les théories modernes de l'électrochimie et leurs applications les plus récentes, il constitue à ce titre un des ouvrages les plus précis et les plus documentés sur la matière. Débutant par la théorie de l'électrolyse, l'auteur en rappelle les lois fondamentales. La migration des ions, la conductibilité des électrolytes et la question des forces électromotrices y sont traitées sous une forme simple, accessible à tous et conduisant aux résultats pratiques.

Les fours électriques loin d'être négligés occupent une partie importante de l'ouvrage, en particulier leur mode d'alimentation et les phénomènes dont ils sont le siège, font l'objet d'une étude magistrale qui rendra de réels services à ceux qui pourraient être appelés à utiliser ces appareils. La partie pratique de l'électrométallurgie occupe également dans le livre de M. Levasseur une place importante, on y trouve des renseignements sur la constitution des fours, les électrodes, etc. Enfin l'application des fours électriques à la fabrication des nouveaux alliages si répandus aujourd'hui est examinée avec détails.

En résumé excellent ouvrage dont il est difficile de trouver même à l'étranger l'équivalent et qui trouvera sa place dans toutes les bibliothèques électrotechniques. Il arrive du reste à sa 3^e édition qui sera certainement suivie de beaucoup d'autres.

L'aluminium et ses alliages, édité par l'*Aluminium Français*, 23 bis, rue de Balzac, Paris. Un volume de 114 pages, 12 planches de phototypies, une annexe. Don de l'éditeur.

Monographie claire et complète, relative à l'aluminium et à ses alliages, à leur préparation et à leur travail; laminage, forgeage, soudure et toutes opérations s'effectuant à l'atelier mécanique.

Un chapitre spécial est consacré aux applications de l'aluminium et de ses alliages aux constructions mécaniques, à l'aviation, à l'électricité aux industries chimiques textiles, à l'ameublement, etc., à l'aluminothermie et à ses applications.

La brochure *L'aluminium et ses alliages* est envoyée à toutes personnes en faisant la demande par les soins de la Société « L'aluminium Français », 23 bis, rue de Balzac, à Paris.

IL Y A 30 ANS

Réunion ordinaire mensuelle du 1^{er} Février 1899.

Présidence M. R.-V. PICOU

M. le Président fait part de l'ouverture d'une souscription destinée à l'érection d'un monument funéraire à la mémoire de Lucien GAU-LARD, mort depuis dix ans déjà, et dont les restes ont dû être inhumés dans une concession provisoire qui est à la veille d'expirer.

M. GROSSELIN continuant la discussion sur une communication antérieure relative aux interrupteurs et coupe-circuits donne connaissance des résultats qu'il a obtenus avec des fusibles en plomb, de diamètre compris entre 2 et 5 mm, suivant que ces organes sont dans l'air ou dans l'huile et il en tire des conclusions au sujet des dispositifs à adopter pour qu'ils donnent le maximum de sécurité.

M. ZETTER parle des essais qu'il a faits et des résultats qu'il a obtenus avec des fusibles en alliage de plomb et d'étain employés sous forme de lamelles.

M. BRUNSWICK insiste sur le danger d'incendie que laisse subsister la fusion d'un coupe-circuit fusible et il estime qu'il y aurait lieu de les remplacer par des coupe-circuits magnétiques tels que les disjoncteurs, ceux-ci utilisant, en particulier, les propriétés des aciers au nickel à teneur convenable récemment étudiés par M. Ch.-Ed. GUILLAUME.

M. J. SARCIA fait une communication sur les Tramways à accumulateurs de la Ville d'Ostende d'après les renseignements de M. de CUYPER, Directeur des Tramways d'Ostende et il donne des résultats d'exploitation présentant un certain intérêt.

M. Maurice LEBLANC continuant son « Etude sur la Transmission et la Distribution de l'énergie par les Courants alternatifs » traite dans une 3^e Partie relative à « l'Etude spéciale des machines d'induction » d'un appareil qu'il appelle « Récupérateur électrique ». Dans une 4^e Partie, M. Maurice LEBLANC traite de l'excitation des moteurs asynchrones, et dans une 5^e Partie des « Transformateurs redresseurs ». Ces derniers appareils sont étudiés dans le cas d'un courant alternatif simple d'intensité constante, d'un courant alternatif simple et de courants polyphasés débités sous tension constante.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion ordinaire mensuelle du Samedi 2 mars 1929, commune avec le Comité Central des Sociétés de T. S. F., p. 226.
Admissions de Membres titulaires, p. 226.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Résultats obtenus au Laboratoire « Alsthom » par la comparaison de spin-termètres (M. KRIEGER), p. 232.

Discussion de la semaine d'octobre 1928 (*suite*).

2^e SECTION. — Sommaire, p. 246. — Discussion du rapport de M. M. LEBLANC sur le rayonnement ultra-violet et du rapport de M. DAUVILLIER sur l'état actuel de la question des unités radiologiques, p. 247. — Actinisme réel en cinématographie panchromatique et Procédés d'éclairage pour les prises de vues sur film panchromatique (M. le Président, MM. ROUX, DOURGNON, ABGRALL, DIDIEE, CABET, BOSSU, CHATEAU, DUMONT, MATIGOT), p. 247. — Projecteurs à miroir parabolique et dispositifs antiéblouissants, applicables aux projecteurs d'automobiles à miroir parabolique de révolution (MM. DOURGNON, WAGUET, BOSSU, ROUX, MATIGOT), p. 260.

3^e SECTION. — Sommaire, p. 266. — Electrolyse des chlorures (MM. LEVASSEUR et BUNET), p. 266. — Projet de définition des machines à souder par résistance (M. MATHIEU), p. 268.

4^e SECTION. — Tarification de l'Energie réactive (M. AILLERET), p. 270. — Discussion (MM. ILIOVICI, BRYLINSKI, AILLERET, de PISTOYE, VILLIERS, BRYLINSKI, DARRIEUS, BUDEANU, DEMANY), p. 274. — Examen et adoption d'un vœu de la 1^{re} Section, relatif à la réglementation du démarrage des moteurs asynchrones, p. 295. — Traction avec récupération. — Système DELLA RICCIA, p. 295. — Système SOMAJNI, p. 305. — Discussion (MM. ANDRIES, SOMAJNI, DEMANY, GRATZMULLER), p. 307. — Protection sélective dans les réseaux (MM. ILIOVICI, FALLOU, KLONINGER), p. 330.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 334.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 336.

IL Y A TRENTE ANS, p. 340.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

4^e série, tome IX, n° 91.

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Samedi 2 Mars 1929

Commune avec le Comité central des Sociétés de T. S. F.

Présidence de M. BUNET.

assisté de M. CLAVIER, Président du Comité central.

La séance est ouverte à 20 h 45.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

- Abd-el-Al** (Ibrahim), ingénieur civil, élève à l'E.S.E., 35, rue Edgar-Quinet, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Amilibia** (José-Louis), élève à l'E.S.E., 7, villa Juliette de Wils, 60, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Angot** (Edouard-Eugène), élève à l'E.S.E., Fougérolles du Plessis (Mayenne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Antoniu** (S.-Jean), élève à l'E.S.E., 13, carrefour de l'Odéon, à Paris (6^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Arlaud** (Albert), ingénieur E.C.P., élève à l'E.S.E., 21, boulevard Jourdan, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Aurivaud** (Roger-Emile-Fernand), élève à l'E.S.E., Hôtel Béranger, 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Baldino** (Antoine), élève à l'E.S.E., 21, boulevard Jourdan, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Balloul** (Henri), élève à l'E.S.E., 31, rue des Clostaux, à Clamart (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Barasco** (Georges), élève à l'E.S.E., 1, quai René-Viviani, à Paris (5^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Barbèron** (Jean-Ludovic-Philippe-Marie), élève à l'E.S.E., 47, rue Gounod, à Saint-Cloud (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Baroin** (Henri-François), élève à l'E.S.E., 21, boulevard Jourdan, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Barre** (Lucien-Henri), élève à l'E.S.E., 106, rue de Flandre, Le Bourget (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Basset** (James-François-Emile), administrateur-directeur et président du Conseil de la Société de Chaudronnerie et Constructions mécaniques de Paris et du Nord, 4, rue des Eaux, à Paris. Domicile : 7, rue Yvon-Villarcieu, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Benezech** (Jules-Germain-Pierre), ingénieur I. E. G., administrateur-délégué des Sociétés anonymes ci-après : Novi (magnétos et équipements d'éclairage, 42, rue des Grilles, à Pantin (Seine); La Construction Radioélectrique, 18 et 20, rue Amélie, à Asnières (Seine); La Polymécanique, 210, route des Petits-Ponts, à Pantin (Seine). — Domicile : 4, rue Amiral de Joinville, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Berkovitz** (Pierre-Berthod), ingénieur A. C. G. I., Londres, 27, avenue Kléber, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

- Briot** (Léon-Jean-Marie), ingénieur E.S.M.E., élève à l'E.S.E., 15, rue Bréa, à Paris (6^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Bleux** (Georges-Maurice-Emile), élève à l'E.S.E., 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Bligny** (Gabriel-Louis-Marius), ingénieur E.S.E., 44, rue de Clignancourt, à Paris (18^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Bocherel** (Louis-Jean-Henri), élève à l'E.S.E., 60, rue Didot, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Boquet** (Gérard), élève à l'E.S.E., 35, rue Edgar-Quinet, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Boige** (Louis), élève à l'E.S.E., 4, rue Danton, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Bouchilloux** (Roger-Jean), directeur de l'Energie industrielle à Chartres, 24, rue Noël-Ballay, à Chartres (Eure-et-Loir). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Bourgade** (Yves-André), élève à l'E.S.E., 232, boulevard Raspail, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Boutin** (Jean), élève à l'E.S.E., 7, rue Jacques-Boyceau, à Versailles (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Bourriguen**, élève à l'E.S.E., 5, rue Nicolas-Charlet, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Labarrou** (Augustin-André), élève à l'E.S.E., 39, rue Arthur-Rozier, à Paris (19^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Canat** (Marcel-Henri), ingénieur chef de laboratoire à la C.P.D.E., 15, boulevard Victor, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Maurer et Blanchet.
- Clayton** (Marcel), ingénieur I. E. G., ingénieur à la Société Havraise d'Energie Electrique, à Yainville, Duclair (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Chanarce** (Lucien-Paul-Marie de), élève à l'E.S.E., 110, avenue du Roule, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Chataignier** (Maurice-Gaston), élève à l'E.S.E., 103, rue Briançon, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Chevalier** (Robert-Jacques-Albert), ingénieur E.P.C.I. aux Etablissements Varret et Collot (fabrique de condensateurs), 7, rue d'Hautpoul, à Paris (19^e). Domicile : 88, route de Croissy, Le Vésinet (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Bunet et Collot.
- Cidrac** (Yves-Alain-Paul-Marie de), élève à l'E.S.E., 83, rue Perronet, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Clermidy** (Charles), élève à l'E.S.E., 10, rue Neuve, à Nantua (Ain). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Cohen** (Victor), directeur de l'agence Paris-Banlieue de la Société d'application et fabrication industrielle (S.A.F.I.), 11, rue du Delta, à Paris (9^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Coignard** (Louis-André-Marie), chef du département « Câbles » aux Etablissements Grammont, 74, rue Borghèse, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Coupinot** (Fernand-Valentin-René), élève à l'E.S.E., 13, rue de Poissy, à Paris (5^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Dauvilliers** (Lucien-Henri), ingénieur au Laboratoire de M. George Claude à Rueil (Etude des procédés Claude-Boucherot), 7, impasse Boucher, boulevard Bessières, Paris (17^e). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Desanges** (Claude-André), élève à l'E.S.E., 118, boulevard Malesherbes, à Paris (17^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Deschavannes** (Louis-Joseph), ingénieur, chef de service, Société de la Soie Artificielle du Sud-Est : Construction et Exploitation « Centrales Thermiques », à Vaulx-en-Velin (Rhône). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Destruhaut** (Marc), élève à l'E.S.E., 133, boulevard Brune, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Devenet** (Maxime-Paul-Marc), 62, rue Théophile-Gautier, à Paris (16^e). — Présenté par MM. du Bourg de Bozas et Grosselin.
- Didier** (Roné), gérant des Etablissements Didier et C^{ie}, 124, boulevard Magenta, à Paris (10^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Diot** (Louis-Robert-Marie), élève à l'E.S.E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Dufroy** (Jean-Jacques-Julien), élève à l'E.S.E., 15, rue Daumier, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

- Dupret** (Georges-Henri), ingénieur-conseil, professeur à l'institut industriel, à l'école pratique de Lille et à l'École supérieure de commerce de Lille, 29, rue Camille-Desmoulins, à Lille (Nord). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Dropsy** (Emile-Joseph), ingénieur A.M.E.R., élève à l'E.S.E., 18, rue des Moulins, à Reims (Marne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Durepaire** (Michel-Lucien-Jules), élève à l'E.S.E., 3, rue Paul-Bert, à Poitiers (Vienne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Especel** (Emile-Jean), élève à l'E.S.E., à Sainte-Florine (Haute-Loire). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Faure** (Henri), élève à l'E.S.E., 122, boulevard Murat, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Forgeot** (René), élève à l'E.S.E., 79, rue Michel-Ange, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Fournier** (Claude-Jean-Jacques-René), élève ingénieur des P.T.T., élève à l'E.S.E., 35, rue Edgar-Quinet, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Freon** (André-Louis-Charles), élève à l'E.S.E., 76, avenue du Roule, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Fuchs** (Pierre), élève à l'E.S.E., à Sainte-Marie-aux-Mines (Haut-Rhin). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Gallois** (Adrien-Auguste), directeur de la Société Versaillaise des tramways électriques et de distribution d'énergie, 19, rue Georges-Clemenceau, à Versailles (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Godineau** (Robert-Léon-Ernest), élève à l'E.S.E., 59, rue Chardon-Lagache, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Gourjon** (Marcel-Marie-Casimir), ingénieur à l'Alsthom, 40, boulevard Gallieni, à Neuilly-Plaisance (Seine-et-Oise). Domicile : 23, avenue de Marainville à Saint-Maur-les-Fossés (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Bouchierot.
- Greff** (André-Eugène), ingénieur à la C.P.D.E., 336, rue des Pyrénées, à Paris (20^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Grente** (Fernand-Pierre), directeur de la Sociedad* auxiliary de Fomento de Empresas Electricas, Cortès 632, à Barcelone (Espagne). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Harcourt** (Jacques-Philibert-Pierre d'), ingénieur à l'Alsthom, 71, faubourg Saint-Honoré, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Girault et Thielemans.
- Harder** (Henric), élève à l'E.S.E., 35, rue Edgar-Quinet, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Hugon** (Joseph-Robert-Edouard), ingénieur en chef de la ville de Bordeaux, 91, rue Paulin, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Kupper et Delasalle.
- Huguet** (René-Gabriel-Henri), élève à l'E.S.E., 104, rue de Vaugirard, à Paris (6^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Jacob** (Pierre-Jean-Marie), élève à l'E.S.E., 5, boulevard Jourdan, cité Belge, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Jarlas** (Henri de), élève à l'E.S.E., 5, boulevard Jourdan, cité belge, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Joffre** (Marius), élève à l'E.S.E., 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Jouanin** (Georges-Michel-Henri), lieutenant de vaisseau, élève à l'E.S.E., 155, avenue du Maine, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Julien** (René-Cyprien-Joseph), élève à l'E.S.E., 103, rue Brancion, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Kowalski** (Edmond-Léon), élève à l'E.S.E., 61, boulevard Poniatowski, à Paris (12^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Lantran** (Jean-Emile), élève à l'E.S.E., 9, rue Fermal, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Launay** (René-Louis-Arthur-Jules), ingénieur de la Marine, élève à l'E.S.E., 8, rue Nicolas-Charlet, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Lebeau** (Léon-Georges), élève à l'E.S.E., 45, avenue Augustin-Dumont, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Lecreux** (Claude-Michel), officier de marine, élève à l'E.S.E., Cercle Naval à Toulon (Var). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Lechartier** (Charles), ingénieur A.M. et élève à l'E.S.E., 37, rue de l'Abbé-Groult, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

- Le Meillour** (Jean-Julien), lieutenant du Génie, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, élève à l'E.S.E., 24, rue Houdan, à Soeaux (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Lezaud** (Bernard), élève à l'E.S.E., 35, rue Edgar-Quinet, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Mang** (Gérard), élève à l'E.S.E., 14, rue Juliette-Dodu, à Paris (10^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Mann** (Paul), élève à l'E.S.E., 23, boulevard Murat, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Marcoz** (Jean-Alphonse-Eugène), élève à l'E.S.E., 21, boulevard Jourdan, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Maréchal** (Jean-Daniel), élève à l'E.S.E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Mathieu** (Paul-Charles), élève à l'E.S.E., 117, avenue Gambetta, à Paris (20^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Maudière** (Pierre-Elie-Albert), élève à l'E.S.E., 8, rue de Turenne, à Nouseville (Ardennes). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Meifredy** (Charles-Jean-Henri), directeur général de la Compagnie du gaz de Lyon, 45, rue Malesherbes, à Lyon (6^e) (Rhône). — Présenté par MM. Berne et Dumont.
- Malassine** (Jean-Pierre-Marie), élève à l'E.S.E., 5, rue Surcouff, à Paris (7^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Noël** (Adrien), élève à l'E.S.E., 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Orain** (Alfred), élève à l'E. S. E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Ory** (André-Jean-Antoine), élève-ingénieur des télégraphes, élève à l'E.S.E., 20, avenue de Wagram, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Pache** (Jean-François), ingénieur représentant, 7, rue du Val-Saint-Grégoire, à Colmar (Haut-Rhin). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Panoff** (Georges), élève à l'E.S.E., 35, rue Edgar-Quinet, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Pelpel** (Jacques-Charles-Gustave), élève à l'E.S.E., 1, square du Croisic, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Pfaff** (Alphonse-Léon-Paul), ingénieur du département étranger de la Maison Robert Zapp (Aciers Krupp), Jülicherstrasse 29-1, à Dusseldorf (Allemagne). — Présenté par MM. Lorin et Didierjean.
- Pojoga** (Rostislow), ingénieur L.E.G., élève à l'E.S.E., 35, rue Edgar-Quinet, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Poitrimol** (Paul-Louis), directeur de l'Usine de Neuilly-Plaisance de la Société Alsthom, 5, rue des Potagers, à Neuilly-Plaisance (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Poittevin** (Maurice-Désiré), chef du Laboratoire de Recherches des Etablissements Caiffe, Gallot et Pilon, 51, rue Lacordaire, à Paris. Domicile : 10, rue Auguste-Beau, à Courbevoie (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Saget.
- Provençères** (Marie-Joseph-François-Robert de), élève à l'E.S.E., à La Ferté-Hauterive (Allier). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Pujat** (Charles), directeur de l'Agence de Toulouse de la Compagnie Electro Mécanique, 21, boulevard Carnot, à Toulouse (Haute-Garonne). — Présenté par MM. Bunet et Leblanc.
- Recoules** (Noël-Jules), élève à l'E.S.E., 10 bis, rue Carnot, à Saint-Ouen (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Renard** (Pierre-Yves), élève à l'E.S.E., 60, rue Didot, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Rouhier** (Marcel), élève à l'E.S.E., 3, rue Emile-Deschanel, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Rousseau** (Roger-Raymond), ingénieur A.M., élève à l'E.S.E., 32, rue du Petit-Musc, à Paris (4^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Russo** (Robert), ingénieur physicochimiste à la Société de Recherches et Applications industrielles, 125, rue du Président-Wilson, à Puteaux (Seine). Domicile : 6, rue de Charenton, à Paris (12^e). — Présenté par MM. Toulon et Grosselin.

- Sallard** (Jacques-Marie-Henri), élève à l'E.S.E., 32, rue de Versailles, à Viroflay (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Sayet** (Jacques-Marcel-Charles-Georges), élève à l'E.S.E., 10, villa d'Orléans, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Seignobosc** (Albert), directeur de la succursale de Marseille de la Compagnie générale d'Electricité, 6, rue de Lodi, à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Soulier** (Pierre), élève à l'E. S. E., 43, avenue de Saxe, à Paris (7^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Stanpa** (Albert-Louis-Auguste), élève à l'E.S.E., 36, rue Abel-Hovelacque, à Paris (13^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Steff** (René), élève à l'E.S.E., 20, avenue Voltaire, à Juvisy-sur-Orge (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Thibaut** (Edouard-René), élève à l'E.S.E., 5, rue Marguerin, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Tourillon** (Henri-Jean-Paul-Alfred), ingénieur E.C.P., élève à l'E.S.E., 52, boulevard Saint-Jacques, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Trejbal** (Joseph), Commandant d'artillerie de l'Armée Tchécoslovaque, élève à l'E.S.E., 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Varnet** (Pierre-Louis), élève à l'E.S.E., 14, avenue du Panorama, à Romainville (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Violat** (François-Guillaume), élève à l'E.S.E., 9, rue Saint-Nicolas, à Choisy-le-Roi (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Virgitti** (Jean), élève à l'E.S.E., 29, avenue de la République, à Château-Thierry (Aisne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Vitte** (Emile-Louis), ingénieur, Service d'appareillage H. T. de l'Alsthom (Usine de Saint-Ouen), 6, rue Henri-Poincaré, à Clichy (Seine). — Tél. Pereire 20-36. — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Walewski** (Roger-Alexandre), élève à l'E.S.E., 71, avenue Victor-Hugo, à Paris (16^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Wenger** (André-Eugène), élève à l'E.S.E., 18, rue d'Alsace à La Seyne (Var). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Yates** (Léonard-Harold), assistant-Engineer (Elec) Public Works Department, Sydney. « Lavistock », Essex Street, Epping N. S. W. (Australie). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société.

M. BEAUVAIS, présente une communication sur *Les Ondes Electriques très courtes*.

Il expose les procédés employés par M. PIERRET, pour produire des ondes électriques de quelques centimètres de longueur d'onde.

Il répète les expériences de réflexion, de réfraction, d'interférences, montrant que ces ondes se comportent à l'échelle près comme des ondes lumineuses. Il rappelle les essais d'ondes dirigées exécutés entre le Mont Valérien et Saint-Germain-en-Laye, et qui ont permis d'obtenir avec des miroirs appropriés, une grande précision dans la direction.

Le conférencier annonce, en terminant, que M. PIERRET exécutera de nouvelles expériences dans le même domaine, pendant l'exposition de la Société de physique.

M. le Président BUNET, remercie très vivement MM. BEAUVAIS et PIERRET, d'avoir bien voulu répéter leurs très intéressantes expériences sur les ondes très courtes et il les félicite d'avoir obtenu, dans cette voie, un succès si complet.

M. MESNY, expose les *procédés Belin de téléphotographie : exploration de l'image par un pinceau lumineux, excitation d'une cellule photoélectrique, amplification à la manière ordinaire*. La réception se fait par l'électrolyse sur un papier sensibilisé. Il insiste notamment sur la difficulté d'obtenir le synchronisme parfait du transmetteur et du récepteur, difficulté résolue par l'arrêt à chaque tour du récepteur et par sa remise en route sur un signal spécial de l'émetteur.

Il projette des photographies ainsi transmises et dont la trame est invisible malgré l'agrandissement résultant de la projection. Il fait ensuite fonctionner les appareils devant l'auditoire.

M. le Président BUNET remercie M. MESNY dont l'exposé, si clair, nous a fait apprécier les difficultés rencontrées et admirer en même temps l'ingéniosité avec laquelle elles ont été surmontées.

La séance est levée à 22 h 30.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

RÉSULTATS OBTENUS AU LABORATOIRE « ALSTHOM » PAR LA COMPARAISON DE SPINTERMÈTRES ⁽¹⁾

par M. KRIÉGER.

La mesure de la tension à laquelle s'amorce l'arc persistant dans les huiles isolantes, telles que celles employées dans les transformateurs, est généralement désignée sous le nom de mesure de la rigidité diélectrique de l'huile.

Or, il est actuellement reconnu que la rigidité diélectrique des huiles, ou diélectriques analogues, aussi privés d'impuretés qu'il est possible, atteint des valeurs infiniment plus élevées que celles requises couramment et qui sont suffisantes pour les usages industriels, sauf peut-être pour les câbles.

Les résultats obtenus dans les mesures courantes, dépendent, non seulement des propriétés intrinsèques de l'huile, mais surtout des impuretés contenues dans celle-ci.

Les valeurs des tensions de percement trouvées, indiquent donc approximativement le pourcentage de ces impuretés.

Dans l'étude que je vais résumer, nous avons cherché à déterminer la sensibilité relative de deux types d'éclateurs, dits spintermètres, au pourcentage de ces impuretés, et à connaître s'il existait un rapport constant entre ces deux sensibilités.

Les essais ont été effectués, sous ma direction, au Laboratoire « ALSTHOM » (anciennement THOMSON-HOUSTON) par M. Gabriel PERRIN, chef de la Section Electromécanique de ce Laboratoire et membre de notre Société.

Les appareils employés, les méthodes suivies et les matériaux essayés ont été les suivants.

(1) Communication présentée à la séance mensuelle de la S.F.E. du samedi 2 février 1929.

I. — SPINTERMÈTRES.

1° *Spintermètre à sphères.*

Le spintermètre à sphères représenté par la figure 1, est du type réglementaire en France, décrit dans le cahier des charges des Huiles Transformateurs, publié sous le n° 136 par l'Union des Syndicats de l'Electricité.

Les sphères ont un diamètre de 12 mm 5 et sont distantes de 5 mm pendant l'essai.

Afin d'éviter les ruptures fréquentes du tube de verre pendant

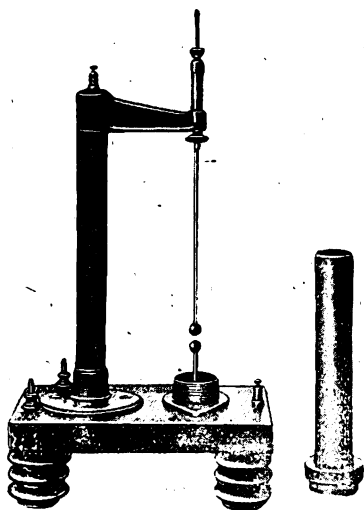


Fig. 1. — Spintermètre à sphère type U. S. E.

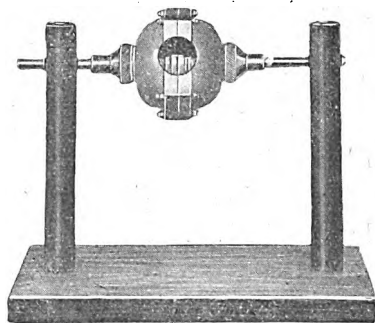


Fig. 2. — Spintermètre à disque type G. E. Co.

l'essai, par suite des fuites sur la paroi de ce tube, nous l'avons remplacé par un tube de carton bakélisé. L'opacité du récipient n'offre aucun inconvénient pour déterminer le moment de l'amorçage de l'arc entre les sphères, car cet instant correspond à la chute de la tension appliquée entre les sphères et est accompagné d'un bruit caractéristique.

2° *Spintermètre à disques.*

Le spintermètre à disques représenté par la figure 2, est du type employé en Amérique par la G. E. Co. Il se compose d'une enceinte sphérique formée de 2 calottes en matière isolante, traversées à l'extrémité d'un même diamètre par deux tiges de laiton déplaçables suivant

leur axe et terminées à l'intérieur de l'enceinte par deux disques de même métal, ayant 25,4 mm de diamètre (1 pouce) et 6 mm environ d'épaisseur, écartés de 2,54 mm soit 1/10 de pouce.

La construction est telle que les faces en regard de chacun de ces disques sont parfaitement parallèles, les bords de ceux-ci présentant un arrondi de 0,2 mm de rayon environ.

L'ensemble de l'appareil est, à l'aide des tiges de laiton, supporté sur un socle par deux colonnes isolantes.

L'enceinte sphérique porte une ouverture pratiquée sur un diamètre, perpendiculaire à celui des électrodes et par laquelle on introduit ou on vide l'huile en essais.

II. — DÉTERMINATION DE LA TENSION DE RUPTURE.

Le réglage de la tension se fait par la basse tension du transformateur d'essai à l'aide d'un régulateur d'induction.

La tension au spintermètre est mesurée par un électromètre d'Abraham-Villard-Carpentier.

La tension appliquée au début de l'essai est de : 25 000 V pour l'appareil U.S.E.

La tension appliquée au début de l'essai est de : 12 500 V pour l'appareil G.E.C°.

L'élévation progressive de la tension est faite à raison de 2 500 V par 30 s pour l'appareil U.S.E. et de 1 250 par 30 s pour l'appareil G.E.C°.

La tension est élevée jusqu'à ce qu'un arc persistant soit amorcé.

III. — NOMBRE ET CONDITIONNEMENT DES ESSAIS.

Le nombre donné pour la tension de rupture est la moyenne de 3 essais effectués chaque fois avec un nouvel échantillon d'huile pris dans le même récipient.

Les essais sont effectués :

- 1° Sur huile telle qu'elle a été reçue.
- 2° Sur la même huile après séchage et filtration.

Le séchage et la filtration se produisent simultanément en filtrant l'huile sur un papier filtre Durieux (bande bleue), dans une étuve à 105°C. L'opération dure 15 heures environ.

L'essai de l'huile filtrée et séchée est effectué aussitôt après retour de cette huile à la température ambiante.

IV. — NATURE DES HUILES ESSAYÉES.

Les essais ont porté sur deux catégories d'huiles :

A. — Huiles neuves provenant de prélèvements effectués sur les livraisons des fournisseurs.

B. — Huiles usagées provenant de prélèvements effectués dans des transformateurs, après usage plus ou moins prolongé.

A. — Les huiles neuves sont de différentes provenances, les unes livrées dans des wagons citernes, sont numérotées de 1 à 28. Dans chaque citerne réservoir, un prélèvement est fait dans la partie haute, un autre dans la partie basse.

D'autres prélèvements, numérotés de 29 à 37, ont été faits dans des réservoirs variés, de diverses provenances.

B. — Les huiles usagées proviennent de prélèvements effectués dans des transformateurs dont nous connaissons la durée de fonctionnement.

V. — RÉSULTATS D'ESSAIS.

Les tableaux numérotés I, II, III, rassemblent les résultats obtenus. Ils ont trait :

Pour la catégorie A : n° 1, aux huiles livrées en citernes ;

n° 2, aux huiles livrées dans des réservoirs variés.

Pour la catégorie B : n° 3, aux huiles usagées prélevées dans les transformateurs.

Pour comparer les chiffres de ces tableaux, nous avons porté sur les diagrammes I et II (fig. 3 et 4) des points dont les ordonnées sont proportionnelles aux tensions de rupture à l'éclateur G.E.C° et les abscisses aux tensions de rupture à l'éclateur U.S.E.

On constate immédiatement, à l'examen de ces diagrammes, qu'il n'y a pas de correspondance rigoureuse entre les valeurs trouvées aux deux éclateurs car, s'il en était ainsi, les points trouvés ne seraient pas disséminés de façon quelconque de part et d'autre, de la ligne idéale que nous avons tracée.

Les écarts constatés peuvent résulter de deux causes.

TABLEAU I
CATÉGORIE A
Huiles neuves citernes

N°	Réservoir	Tensions de rupture Volts			
		Huile telle qu'elle a été reçue		Huile séchée et filtrée	
		U. S. E.	G. E. C°	U. S. E.	G. E. C°
1	Haut	50 800	18 300	63 300	22 500
	Bas	50 000	19 800	54 200	20 000
2	Haut	58 300	19 200	58 300	19 200
	Bas	45 000	15 000	63 300	22 500
3	Haut	51 700	19 200	61 700	27 500
	Bas	54 200	19 200	52 500	20 800
4	Haut	46 700	19 200	49 200	23 300
	Bas	55 000	19 200	61 700	24 200
5	Haut	44 800	17 500	59 200	22 500
	Bas	50 000	17 500	50 000	22 500
6	Haut	52 500	17 500	57 500	21 700
	Bas	47 500	16 700	45 800	20 000
7	Haut	43 300	15 800	43 300	16 600
	Bas	38 300	14 100	42 500	20 000
8	Haut	41 600	13 300	41 600	13 300
	Bas	40 000	14 100	50 000	17 500
9	Haut	41 600	12 500	47 500	20 000
	Bas	45 800	13 300	60 000	23 300
10	Haut	50 000	15 800	51 000	21 800
	Bas	47 500	15 000	47 500	17 500
11	Haut	42 500	15 000	55 000	22 500
	Bas	47 500	17 500	47 500	17 500
12	Haut	53 300	20 800	58 300	28 300
	Bas	44 200	21 700	65 800	35 000
13	Haut	52 500	15 700	52 500	18 300
	Bas	42 500	14 200	48 300	16 700
14	Haut	50 000	15 000	50 800	22 300
	Bas	49 200	12 500	50 800	18 300
15	Haut	50 800	19 200	52 500	20 000
	Bas	50 000	15 000	50 800	21 700
16	Haut	51 600	15 800	60 000	22 500
	Bas	57 800	19 150	58 500	20 000
17	Haut	63 500	17 500	60 000	23 300
	Bas	58 300	14 100	67 500	23 300
18	Haut	46 700	16 700	58 300	20 000
	Bas	49 200	15 000	57 500	30 000
19	Haut	55 000	19 200	55 000	27 500
	Bas	52 500	19 200	54 200	30 000
20	Haut	60 000	20 000	60 800	27 500
	Bas	55 000	23 300	69 200	24 200
21	Haut	53 300	18 300	58 300	21 700
	Bas	49 200	16 700	57 500	25 000
22	Haut	55 800	18 300	48 300	22 500
	Bas	45 300	15 000	48 300	20 000
23	Haut	55 000	22 500	65 800	26 700
	Bas	44 200	15 800	55 000	19 200
24	Haut	45 000	15 800	57 500	23 300
	Bas	44 200	15 800	51 700	16 700
25	Haut	61 600	20 800	69 200	21 700
	Bas	49 100	12 500	67 500	20 800
26	Haut	57 500	15 800	57 500	27 500
	Bas	45 800	10 800	63 300	18 500
27	Haut	50 000	18 000	54 100	23 300
	Bas	35 800	9 100	50 000	15 000
28	Haut	47 500	16 000	68 300	23 300
	Bas	37 500	13 300	57 500	22 500

TABLEAU II

CATÉGORIE A

Huiles neuves en réservoirs divers

Réservoirs divers N ^{os}	Tension de rupture Volts			
	Huile telle quelle		Huile séchée et filtrée	
	U. S. E.	G. E. C ^o	U. S. E.	G. E. C ^o
29	47 500	18 300	59 200	24 200
30	48 300	23 300	53 300	28 300
31	53 100	25 000	51 100	25 800
32	65 000	25 000	65 000	27 500
33	44 100	18 300	53 300	19 100
34	63 000	23 300	63 300	35 800
35	57 500	18 300		
36	53 300	16 000		
37	75 600	29 000		

TABLEAU III

CATÉGORIE B

Huiles usagées prélevées dans des transformateurs

N ^o	Tension de rupture Volts			
	Huile telle quelle		Huile séchée et filtrée	
	U. S. E.	G. E. C ^o	U. S. E.	G. E. C ^o
1	55 800	19 200	58 750	27 500
2	51 700	21 700	52 500	22 500
3	40 800	16 700	52 500	21 700
4	50 800	21 700	53 300	23 300
5	62 500	20 000		
6	51 250	20 000		
7	58 300	22 500		
8	32 500	12 500	64 200	29 200
9	40 000	15 000	55 000	27 500
10	46 800	18 300	59 000	24 200
11	40 000	15 000	55 800	23 300
12	62 500	20 000	57 000	20 800
13	65 000	22 500	60 800	16 600
14	55 000	21 600	47 500	17 500
15	25 000	12 000	48 300	16 600
16	25 000	12 500	56 500	21 600
17	25 000	12 500	46 700	15 800
18	55 000	22 500	60 000	26 700
19	48 300	22 500	53 300	25 000

L'une est bien définie. C'est celle dont dépendent les écarts observés dans des mesures consécutives sur la même huile et avec le même appareil.

DIAGRAMME I

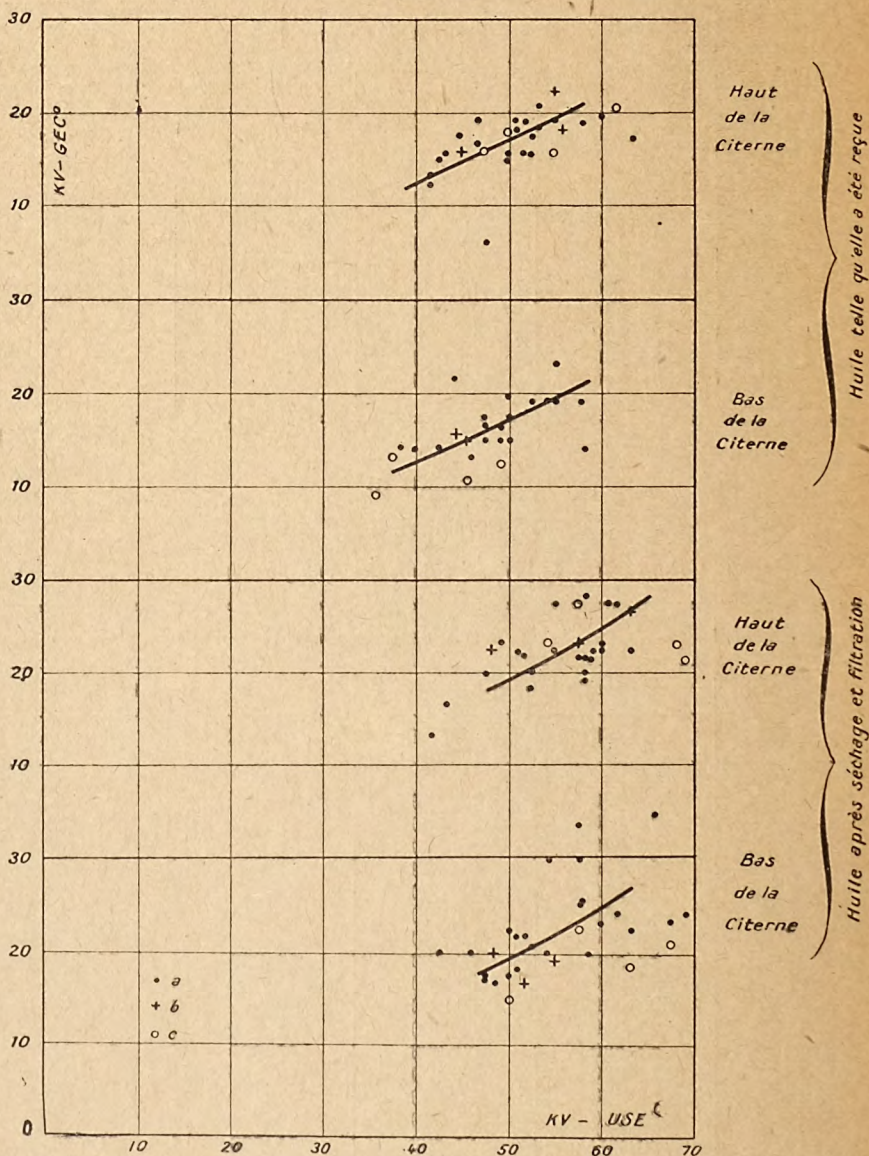


Fig. 3. — Prélèvements effectués dans des wagons-réservoirs.

Pour cette cause, il est probable que chaque point porté sur le diagramme est déplacé de sa position vraie, dans le sens des abscisses,

par l'écart possible dans l'essai à l'éclateur U.S.E. et dans le sens des ordonnées, par l'écart possible dans l'essai à l'éclateur G. E. C°.

La deuxième cause est hypothétique. C'est celle que nous cherchons à découvrir, et qui a comme origine l'absence de correspondance

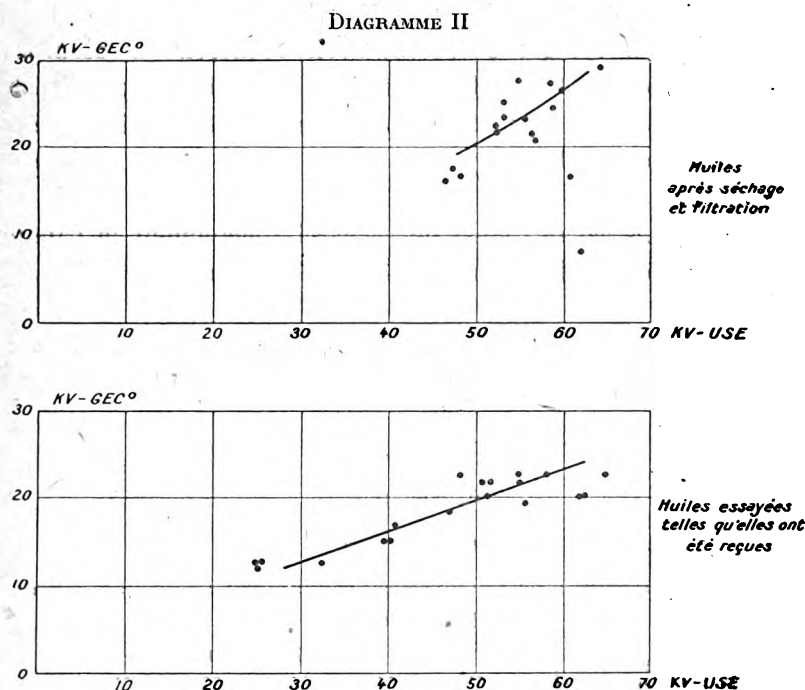


Fig. 4. — Huiles usagées prélevées dans des transformateurs.

rigoureuse entre les deux appareils; c'est-à-dire que *différents* échantillons d'huile, donnant même tension de rupture à l'éclateur U.S.E., donnent des tensions de rupture différentes à l'éclateur G. E. C°.

Pour vérifier expérimentalement l'hypothèse émise en faveur de la 2^e cause, il est indispensable d'éliminer d'abord les irrégularités dues à la première.

Afin d'arriver à ce résultat M. PERRIN a eu l'idée de rechercher, en se basant sur un nombre très grand d'essais et en employant le procédé indiqué plus loin, les valeurs moyennes des tensions de rupture d'échantillons d'huiles, bien définies et dont de nombreux essais ont été effectués au Laboratoire.

On a pris les essais effectués sur les huiles des catégories A et B en les divisant en groupes d'après les indications suivantes :

A neuves	{	1 ^{er} groupe : haut de la citerne	{	telle que reçue
		2 ^e groupe : bas —		—
		3 ^e groupe : haut de la citerne		séchée et filtrée
		4 ^e groupe : bas —		—
B usagées	{	1 ^{er} groupe : telles que reçues	{	
		2 ^e groupe : séchées et filtrées.		

Dans chacun de ces groupes, nous avons recherché la valeur d'une certaine tension de rupture à l'appareil U. S. E. qui partage les échantillons en deux catégories, l'une dans lesquelles les tensions de rupture sont inférieures à la valeur considérée, l'autre dans laquelle elles sont supérieures.

Pour les mêmes échantillons, on recherche également la valeur de la tension de rupture à l'appareil G. E. C° qui partage les huiles de la même manière.

Les tableaux ci-dessous indiquent les valeurs ainsi déterminées :

TABLEAU IV

CATÉGORIE A

Huiles neuves

Nombre d'échantillons sur 21 essayés dont la tension de rupture est :		1° <i>Telles que reçues</i>			
		TENSIONS DE RUPTURE			
		1 ^{er} groupe Haut de la citerne		2 ^e groupe Bas de la citerne	
		U. S. E.	G. E. C°	U. S. E.	G. E. C°
inférieure	supérieure				
3	18	43 900	15 000	42 900	14 100
6	15	46 700	15 800	46 600	14 600
9	12	50 000	17 100	47 900	15 000
12	9	51 700	17 900	49 600	17 100
15	6	52 900	19 200	51 250	19 200
18	3	56 500	19 200	55 000	19 500
		2° <i>Séchées et filtrées</i>			
		3 ^e groupe		4 ^e groupe	
3	18	48 300	18 700	47 500	17 500
6	15	52 000	20 000	50 000	20 000
9	12	55 000	21 700	51 600	20 400
12	9	58 300	22 500	55 800	22 500
15	6	58 800	22 900	59 200	23 700
18	3	60 400	27 500	64 500	27 500

TABLEAU V
CATÉGORIE B
Huiles usagées

1° Telles que reçues			
Nombre d'échantillons sur 19 essayés dont la tension de rupture est :		TENSIONS DE RUPTURE	
inférieure	supérieure	1 ^{er} groupe	
		U. S. E.	G. E. C°
3	16	28 700	12 300
6	13	40 400	15 800
9	10	49 500	19 600
12	7	52 400	20 800
15	4	57 000	22 100
2° Séchées et filtrées			
Nombre d'échantillons sur 16 essayés dont la tension de rupture est :		2 ^e groupe	
inférieure	supérieure	U. S. E.	G. E. C°
6	10	53 300	21 600
9	7	56 100	23 300
12	4	58 900	25 800

Les chiffres moyens ainsi déterminés en supposant, ce qui est l'hypothèse la plus naturelle et la plus probable : 1° qu'ils ne dépendent

DIAGRAMME V N° 1

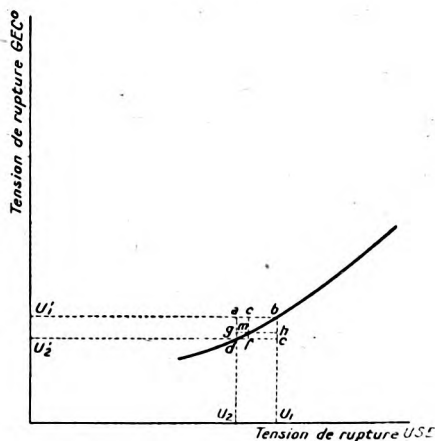


Fig. 5. — Diagrammes des tensions de rupture en fonction de la teneur en eau.

que de l'huile même par suite de l'hétérogénéité d'un même échantillon ; 2° que les écarts se répartissent de part et d'autre de la vraie

valeur, peuvent être considérés comme exempts des erreurs dues aux écarts accidentels.

Toutefois, il peut être intéressant de justifier les deux propositions ci-dessus sur lesquelles nous nous sommes basés.

La justification de notre première proposition résulte de ce que les écarts trouvés sur un même échantillon sont d'un ordre de grandeur très supérieur aux erreurs de calcul et d'expériences qui peuvent intervenir et ne peuvent être expliquées que par l'hétérogénéité entre les volumes restreints d'une même huile soumis à l'action du champ.

Pour justifier la seconde, traçons deux courbes arbitraires des tensions de ruptures aux deux appareils U.S.E. et G.E.C. en fonction d'une seule impureté de l'huile, H_2O par exemple (Diagramme, V. n° 1, figure 5).

Une valeur A de cette impureté, peut comporter des écarts variant de A_1 à A_2 et les tensions correspondantes aux spintermètres seront U_1, U_2 et U'_1, U'_2 .

Si, d'après ces valeurs, nous cherchons à tracer une courbe de cor-

DIAGRAMME V N° 2

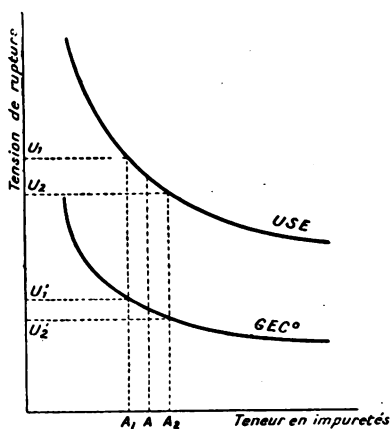


Fig. 6. — Courbe de correspondance entre les deux spintermètres.

respondance des deux spintermètres, que nous supposons possible dans le cas d'une seule impureté, les points obtenus se répartiront dans le rectangle a, b, c, d (diag. V. n° 2, figure 5), dont la diagonale se confond avec la courbe de correspondance.

Or, si en un point de cette diagonale, on partage le rectangle a, b, c, d par 2 droites c, f et g, h , les surfaces a, d, c, f et c, d, g, h sont égales.

Autrement dit, ainsi que nous l'avons supposé pour éliminer les

écarts accidentels, dans le cas d'une courbe de correspondance hypothétique, celle-ci partage les points expérimentalement trouvés en 2 groupes, l'un de tensions plus grandes, l'autre de tensions plus petites, que la valeur considérée et de la même façon pour les 2 spintermètres.

Les écarts accidentels étant ainsi éliminés, il reste à voir ce que devient la correspondance entre les deux spintermètres, en comparant les chiffres moyens obtenus.

Supposons que dans chacun des 6 groupes envisagés plus haut, il

DIAGRAMME III

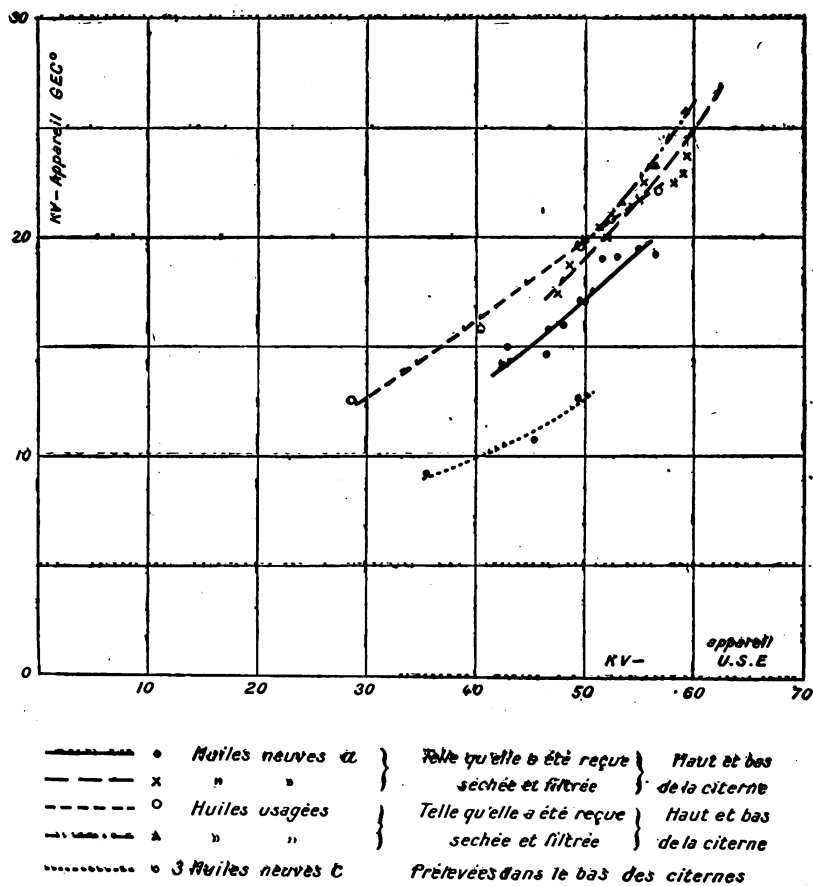


Fig. 7.

existe une courbe de correspondance; celle-ci doit évidemment, si elle n'est pas fictive, être la même pour tous les groupes.

Or, en traçant les courbes de correspondance de chaque groupe (diagramme 3), on voit bien que pour une même huile les courbes du 1^{er} et 2^e groupe haut et bas des citernes se confondent, ce qui justifie notre

point de départ supposant l'existence d'une courbe pour chaque groupe, et que celles des 3^e et 4^e groupes se confondent également. Mais *il n'y a rien de commun* entre les groupes 1, 2 et 3, 4, qui se différencient pour une même huile par le séchage et la filtration de celle-ci, c'est-à-dire par la variation moyenne des impuretés.

De même, dans la catégorie (B) des huiles usagées, on trouve une courbe différente entre les huiles telles que reçues et celles filtrées et séchées.

Il n'y a donc pas de courbe de correspondance entre les tensions de rupture d'huiles diverses mesurées au spintermètre à sphères U.S.E. et au spintermètre à disques G.E.C°.

On remarque d'une façon générale :

1° Que pour une même tension de rupture à l'appareil à sphères mesurée : a) sur les huiles telles quelles; b) sur celles séchées et filtrées, la tension de rupture à l'appareil à disques est plus faible pour les premières que pour les secondes et cela aussi bien pour les huiles usagées que pour les huiles neuves.

2° Dans les mêmes conditions d'égalité de tension de rupture à l'appareil à sphères, les huiles usagées donnent une tension de rupture plus élevée que les huiles neuves à l'appareil à disques.

3° La variation de la tension de rupture des huiles filtrées et séchées, lorsqu'elle atteint une valeur élevée, est proportionnellement plus rapide au spintermètre à disques qu'à celui à sphères.

Les courbes du diagramme III, figure 7, montrent, en effet, que pour une même tension de rupture à l'appareil à sphères, on a, à l'appareil à disques, des tensions différentes et d'autant plus élevées que l'huile est plus déshydratée et plus propre.

On peut tenter d'expliquer ces résultats obtenus avec des appareils *bien définis*, ce qu'il est très important de noter, en disant que le spintermètre à disques de 25,4 mm de diamètre écartés de 2,54 mm (spintermètre G.E.C°), décèle mieux les impuretés de l'huile (eau et matières en suspension) que le spintermètre à sphères de 12,5 mm de diamètre, écartées de 5 mm (appareil U.S.E.) et cela pour les raisons théoriques suivantes, déjà émises par F.-W. PEEK (*Journ. of. A.I.E.E.*, mai 1927, page 502).

Dans le cas de disques rapprochés, les impuretés tendent à former des chaînes réunissant en droite ligne les 2 électrodes.

Avec des électrodes planes de grand diamètre et suffisamment rap-

prochées, le pourcentage des impuretés influera donc considérablement sur la tension de rupture.

Cette influence s'amoindrira par l'écartement des électrodes, les chances d'alignement des impuretés devenant plus faibles.

Dans le cas d'électrodes sphériques de faible diamètre et d'un écartement assez grand, les lignes de forces sont distordues et concentrées sur la surface des électrodes, y dirigent les impuretés d'où celles-ci sont immédiatement repoussées sans possibilité de formation de chaînes.

La proportion d'impuretés influe donc peu sur la tension de rupture, en tous cas beaucoup moins qu'avec l'appareil à disques.

Ces considérations expliquent de façon vraisemblable, les résultats expérimentaux que nous avons résumés dans le diagramme III. En premier lieu, on voit, dans ce diagramme, qu'entre deux huiles donnant une même tension de rupture à l'appareil à sphères, l'appareil à disques permet de distinguer l'huile séchée et filtrée de celle qui ne l'est pas, cette dernière ayant à l'éclateur à disque une tension de rupture plus faible.

En second lieu, ainsi que nous l'avons déjà signalé, l'élévation des tensions de rupture à l'appareil à sphères, par suite de la purification de l'huile, est moins rapide que pour l'appareil à disques.

Ceci explique pourquoi les points portés dans les diagrammes I et II sont d'autant plus disséminés que l'huile est plus exempte d'impuretés.

Comme il est vraisemblable que deux sortes d'impuretés principales sont contenues dans l'huile en essais, ces impuretés étant d'une part l'eau, d'autre part des fibres en suspension, on peut supposer que les écarts entre les deux appareils et cela pour les raisons que nous avons indiquées plus haut, seront d'autant plus grands que la teneur de l'impureté fibre sera plus faible et c'est ce que nous avons trouvé expérimentalement.

SEMAINE DE DISCUSSIONS D'OCTOBRE 1928

COMPTE RENDU STÉNOGRAPHIQUE DES DISCUSSIONS

(Suite).

Séance du Mardi 23 Octobre 1928

2^e SECTION. — ÉCLAIRAGE. — CHAUFFAGE. RADIATIONS DIVERSES.

SOMMAIRE :

- 1^o — Discussion du rapport de M. Maurice LEBLANC, sur la mesure du rayonnement ultra-violet et du rapport de M. DAUVILLIER, sur l'état actuel de la question des unités radiologiques. — M. le Président, p. 247.
- 2^o — Discussion du rapport de M. DIDIEE, sur l'actinisme réel en cinématographie panchromatique et du rapport de M. ABRALL, sur les procédés d'éclairage pour les prises de vues sur film panchromatique. — M. le Président, M. M. LEBLANC : références bibliographiques et conclusions d'études faites en Grande Bretagne, p. 247. — MM. ROUX, DOURGNON, ABRALL, DIDIEE : observations sur la variation signalée par M. DIDIEE, de la composition du spectre d'un arc à flamme avec la distance, p. 251. — M. CABET : Observations sur la composition optima du spectre pour une émulsion de sensibilité donnée, p. 252. — MM. CABET, BOSSU, ABRALL, M. le Président : les lampes à incandescence doivent-elles être caractérisées par leur tension ou par la température de leur filament ? Influence du volume de gaz dans l'ampoule ; collaboration souhaitable à établir entre la *Société Française des Electriciens* et la *Société Française de Photographie*, pour l'étude photochimique des sources lumineuses et l'établissement d'un étalon chimico photographique, proportion à adopter entre les lampes à incandescence et les tubes à mercure pour les prises de vues, p. 253. — MM. CHATEAU, CABET, BOSSU, DUMONT : durée d'allumage des lampes à plein feu et procédés employés, consommation, p. 256. — M. MATIGOT : métal employé pour les miroirs de projecteurs, p. 258. — M. DUMONT : emploi de lampes non ventilées, p. 258.
- 3^o — Discussion des rapports de MM. DOURGNON et WAGUET, sur les projecteurs à miroir parabolique et sur les dispositifs antiéblouissants applicables aux projecteurs d'automobiles à miroir parabolique de révolution. — MM. BOSSU, ROUX, WAGUET, MATIGOT : discussion des dispositifs permettant d'éviter l'éblouissement, p. 260.

Présidence : M. Maurice LEBLANC,

Directeur de la Société Anonyme Hewittic.

M. Maurice LEBLANC passe la Présidence à M. BUNET, pendant que lui-même résume son rapport sur *la mesure du rayonnement ultra-violet* ⁽¹⁾.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, tome VIII, n^o 86, octobre 1928, p. 1034.

Après avoir retracé les diverses méthodes proposées pour définir et mesurer l'unité d'efficacité des rayons X, il montre les applications qui en ont été faites aux rayons ultra-violet. Il en conclut que tout actinomètre doit être au préalable étalonné, pour l'action chimique recherchée et pour la source de radiation utilisée, que le joule et le watt paraissent préférables aux diverses unités proposées pour la mesure du rayonnement ultra-violet, et que les Médecins pourraient adopter sans difficulté ces unités purement électriques. Il ajoute que l'étude des radiations ferait un grand pas si les Médecins pouvaient, au moyen de filtres appropriés, séparer celles qui leur sont utiles.

M. Maurice LEBLANC reprend la présidence.

M. LEBAUPIN. — Les rayons ultra-violet sont actuellement employés pour produire le vieillissement accéléré du caoutchouc ; l'effet obtenu dépendant de la source des rayons, il y aurait intérêt à définir exactement celle-ci.

M. LE PRÉSIDENT. — Je me permets de reprendre ici, une thèse que j'ai défendue au récent Congrès de l'Eclairage ; c'est qu'à mon avis les Congrès internationaux manquent généralement d'audace et d'initiative. Ainsi, ils jugent trop prématuré d'indiquer les unités qui doivent être utilisées dans le cas qui nous occupe, ils le feront quand il sera trop tard et que de mauvaises habitudes auront été prises ; ils seront alors arrêtés par des considérations commerciales ou nationales, et ne pourront imposer un système rationnel.

M. DAUVILLIER présente son rapport sur *l'état actuel de la question des unités radiologiques* (1).

M. DIDIEE résume son rapport sur *l'actinisme réel en cinématographie panchromatique* (2).

Il rappelle que, pour obtenir l'enregistrement d'un objet sur un film, il est nécessaire d'éclairer le sujet avec les couleurs qu'il est susceptible de rayonner, et d'employer un film sensible à ces mêmes couleurs.

Il examine les diverses sources lumineuses au point de vue de leur action sur les films panchromatiques, et conclut qu'actuellement les meilleurs résultats sont obtenus par l'éclairage mixte (lampes à mercure juxtaposées aux lampes à incandescence).

Il termine en faisant observer que la cinématographie en couleurs, ne pose pas d'autres problèmes que la cinématographie ordinaire.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, tome VIII, n° 87 novembre 1928, p. 1113.

(2) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, tome VIII, n° 86, octobre 1928, p. 1044.

M. ABGRALL résume son rapport, complément du précédent, sur les *procédés d'éclairage employés pour les prises de vues sur film panchromatique* ⁽¹⁾.

Après un rappel des travaux poursuivis à ce sujet, de 1922 à 1928, par la Section d'éclairage de la Société Française des Electriciens, il décrit les appareils construits par la Maison Brandt et Fouilleret, par la Maison Cabet et par lui-même. En terminant, il émet le vœu qu'une étude entreprise par les électriciens, les photochimistes et les utilisateurs de films panchromatiques, aboutisse à établir des bases scientifiques pour l'appréciation des sources employées.

M. LE PRÉSIDENT. — On peut trouver, dans des communications récentes dont les titres sont portés sur la liste ci-dessous, la réponse à quelques-unes des questions posées par M. Abgrall à la fin de sa communication.

« Le film négatif panchromatique pour cinémas », par L.-A. Jones et J.-J. Chabtree. Trans. S.M.P.E. n° 27, 131 (1926).

« Le Facteur de réflexion des objets colorés pour les radiations utiles en photographie », Loyd A. Jones. Communication n° 327 des Kodak Research Laboratories.

« Rendement comparatif des Sources Lumineuses au point de vue visuel et cinématographique », L.-A. Jones, M.-B. Bodgson et Kenneth Illuse Trans. III Eng. Soc. 10 963, 1915.

« L'emploi de la lumière artificielle dans les studios de cinéma », L.-A. Jones. Transac. Mot. Pict. Eng. n° 30, 74, 1921.

« Caractéristiques photographiques des sources lumineuses utilisées dans les studios de cinéma », L.-A. Jones et M.-E. Russel. Communication n° 358 des Kodak Research Laboratories (avril 1928).

Dans la communication n° 327 des Kodak Research Laboratories, M. Jones définit, pour un écran coloré éclairé par une lumière complexe, un facteur de réflexion visuel R_v et un facteur de réflexion photographique R_p . Si, pour une certaine longueur d'onde λ , on représente par :

J_λ l'énergie émise par la source lumineuse ;

R_λ le facteur de réflexion de l'écran ;

V_λ la sensibilité de l'œil.

On a

$$R_v = \frac{\int_0^\infty J_\lambda V_\lambda R_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty J_\lambda V_\lambda d\lambda}$$

⁽¹⁾ *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, tome VIII, n° 36, octobre 1928, p. 1054.

De même, si on désigne par :

C_λ le facteur de transmission du dispositif optique de l'appareil de prise de vue ;

A_λ la sensibilité du film négatif considéré ;

On a :

$$R_p = \frac{\int_0^\infty J_\lambda A_\lambda C_\lambda R_\lambda d_\lambda}{\int_0^\infty J_\lambda A_\lambda C_\lambda d_\lambda}$$

Pour que le film négatif donne une représentation correcte des brillances relatives de plusieurs écrans colorés, on doit avoir pour tous ceux-ci $R_v = R_p$.

Pour juger de la valeur d'une source lumineuse au point de vue de la reproduction d'objets colorés sur un film négatif donné, on détermine d'abord, par les procédés ordinaires de la photométrie, les valeurs de R_v pour une série de panneaux colorés allant du bleu au rouge. On photographie ensuite ces panneaux sur le film considéré et on mesure pour chacun d'eux la valeur de R_p . La source lumineuse sera d'autant plus parfaite, que les différentes valeurs de R_p seront plus voisines des valeurs de R_v correspondantes.

La mesure de R_p mérite quelque développement. On réalise tout d'abord une série de corps gris passant graduellement du blanc au noir, (on appelle corps gris, des corps dont la réflexion n'est pas sélective ; pour eux R_λ est une constante et par suite $R_p = R_v$). On détermine pour ces corps gris R_v par les procédés photométriques ordinaires, et on a par suite en même temps R_p . Pour un temps d'exposition de 0,04 seconde, voisin de ceux normalement utilisés en cinématographie, et pour un éclairage donnant sur le gris le plus foncé ($R_v = 0,018$) une densité d'environ 0,8, on trace pour les corps gris une courbe donnant la densité du cliché en fonction de $\log R_p$ (on appelle densité d'un cliché le logarithme de l'inverse de la transparence).

Pour déterminer le R_p d'un écran coloré, on le photographie dans les conditions de temps de pose et d'éclairage indiquées précédemment, on mesure la densité du cliché obtenu et on en déduit le R_p correspondant, à l'aide de la courbe précédente des corps gris.

Un autre procédé plus rapide, mais qui ne permet pas de comparer facilement les résultats obtenus avec deux sources différentes, consiste à placer, à côté de chacun des panneaux colorés, un panneau gris ayant le même R_v . On photographie ensuite l'ensemble des panneaux colorés et des panneaux gris, avec la source et sur le film que l'on désire étudier. Pour les panneaux gris, on a, comme nous l'avons dit,

$R_p = R_v$; pour que cette relation se vérifie aussi pour les panneaux colorés, ce qui est le but poursuivi, il faut que sur le cliché, les images des panneaux colorés aient exactement la même densité que celle des panneaux gris correspondants.

Dans la communication 358 des Kodak Research Laboratories, MM. Jones et Russell étudient le film panchromatique pour les différentes sources lumineuses suivantes : lumière du jour à midi (en acceptant la définition du Dr Abbott J.); lampes à arc munies de charbon de la National Carbon Company, à flamme blanche, jaune, orange ou rouge, spot à haute intensité (75 A) sunlight, spot à basse intensité, combinaison dans un même réflecteur de tubes à vapeur de mercure en U et de tubes à néon droits, lampes à incandescence de 3 000 W sous différentes tensions.

Leurs conclusions sont les suivantes : les facteurs de réflexion photographiques R_p , obtenus avec les arcs de grande intensité, sont trop grands dans le bleu, trop faibles dans le rouge. Les résultats sont meilleurs avec l'arc à faible intensité, mais surtout avec l'arc à flamme blanche. L'arc orange donne de bons résultats en général, mais avec des résultats trop forts dans le rouge. L'arc à flamme rouge donne des valeurs beaucoup trop élevées dans le rouge. *La combinaison de deux tubes à vapeur de mercure pour un tube à néon, est la meilleure au point de vue d'un rendu correct des tons.*

Le néon seul donne pour le rouge des facteurs de réflexion trop grands.

Les lampes à incandescence donnent des valeurs un peu trop élevées pour les panneaux rouges, mais à peu près correctes pour tous les autres.

Je désire donner également quelques indications sur les efforts réalisés par les fabricants de tubes à vapeur de mercure, pour adapter leur matériel au film panchromatique.

Trois solutions ont été examinées :

Hewitt Electric Co L^{td} (The Bioscope, 25 juillet 1928), corrige la couleur des tubes à mercure par le procédé déjà connu des réflecteurs fluorescents à la rhodamine.

En utilisant des produits ayant une fluorescence plus vive, et qui peuvent être directement déposés sur la tôle des réflecteurs, elle a obtenu des résultats satisfaisants avec un filtre n° 1.

Elle a, d'autre part, expérimenté la combinaison de tubes à vapeur de mercure de 7 A avec des lampes à incandescence de 1 000 W, le meilleur résultat a été obtenu par la combinaison de 4 tubes (3 000 W) avec 8 lampes (8 000 W). Cette proportion de lampes à incandescence

est un peu inférieure à celle trouvée par d'autres expérimentateurs.

Des résultats analogues ont été obtenus au Studio Cinegrafica de Milan, en associant des tubes à vapeur de mercure de 7 A de la Société Anonyme Hewittic avec des lampes à incandescence de 100 W disposées en cordon le long des tubes, de manière à obtenir un mélange aussi intime que possible des deux lumières. La pression de l'atmosphère de ces lampes était nettement supérieure à la normale. La Cooper Hewitt Electric Co Ld a réalisé la combinaison de lampes à mercure en U et de tubes au néon droits avec les excellents résultats relatés précédemment. Des essais également favorables ont été exécutés en Allemagne par la Westinghouse Cooper Hewitt Gesellschaft (Filmtechnik 1928, n° 10, p. 181) et par Herbert Bertling (Filmtechnik 1927, n° 17, p. 322).

M. ROUX. — Dans la communication de M. DIDIEE, je suis surpris de lire que la composition spectrale de la lumière varie avec la distance.

Je ne vois pas pourquoi le spectre du cratère intervient à petite distance pour faire place plus loin à celui de la flamme et je voudrais savoir ensuite comment on peut trouver sur un spectrogramme l'explication d'un tel phénomène.

M. DIDIEE. — On a mesuré le spectre du cratère, puis celui de la flamme, par l'impression sur une plaque photographique. On a constaté que, dans les mêmes conditions, l'impression du rouge est beaucoup plus forte à courte distance; à plus grande distance le bleu domine.

M. ROUX. — Les spectres émis par les deux parties de la source se mélangent et restent mélangés quelle que soit la distance du spectrographe, du moins sur les distances qui interviennent dans un studio : à un kilomètre ou à 10 mètres le spectre est le même.

M. LE PRÉSIDENT, M. DIDIEE présenté le fait comme un résultat d'expérience d'ordre purement pratique.

M. DOURGNON. — Ce résultat est sans doute attribuable aux conditions où l'on opère; notamment, si l'on emploie une optique, il peut différer suivant qu'elle concentre la lumière du cratère ou celle de la flamme.

Il peut varier aussi, suivant la ligne sur laquelle vous vous déplacez.

M. DIDIEE. — Cette différence n'existe pas avec l'arc ordinaire.

M. ROUX. — Parce que sa composition est homogène.

Les différents pouvoirs réflecteurs et les incidences sous lesquelles les mesures sont faites, peuvent intervenir.

Si vous faisiez l'expérience dans des conditions rigoureusement identiques, avec un arc ordinaire et un arc en vase clos, vous trouveriez le même résultat. L'air étant un corps gris, il n'y a aucune raison possible pour qu'une partie de la lumière qui provient du cratère soit arrêtée en cours de route, alors que l'autre continue son chemin. Vous devez trouver la même quantité relative d'énergie à des distances différentes de la source.

M. ABGRALL. — Il y a des phénomènes d'interférence qui interviennent. Lorsqu'on se place à une certaine distance des sources, on n'obtient pas le même rendu des couleurs. Il est certain que si un sujet se déplace dans le faisceau lumineux d'un projecteur, on observe aussi les variations.

M. ROUX. — L'explication me paraît être la suivante :

Le cratère n'émet de radiations que dans une direction déterminée, alors que la flamme les émet autour de son axe. Si vous coupez le faisceau par un écran, une région reçoit la lumière du cratère et une autre celle de la flamme seulement.

M. LE PRÉSIDENT. — La question est importante et pourra être reprise.

M. CABET. — M. Abgrall nous dit : « *En ce moment, deux émulsions sont particulièrement employées dans les studios de cinématographie : Le film Pathé-Kodak et le film Agfa.*

Le premier a une large bande de sensibilité dans le rouge et le jaune avec maximum dans le bleu. Le second a son maximum dans le bleu vert.

C'est dire que la source employée dans le premier cas, doit avoir un spectre plus étendu dans le bleu. »

Nous disons que cette opinion est erronée, car alors le rendu chromatique serait faux. Au contraire, il faut que la source de lumière fournisse le plus de radiations pour lesquelles l'émulsion est la moins sensible et le moins de radiations pour lesquelles elle est la plus sensible, afin que le rendu soit correct.

M. ABGRALL. — Il y a une erreur de frappe sur le manuscrit : Nous sommes d'accord.

M. CABET. — M. Abgrall écrit encore : « l'adjonction aux tubes

à vapeur de mercure de lampes à incandescence utilisées sous tension normale et même parfois sous-voltées. On obtenait ainsi un spectre assez riche en radiations jaunes et rouges, mais un peu renforcé en radiations vertes ».

Nous disons que c'est un avantage et non un inconvénient, car toutes les émulsions panchromatiques ont peu de sensibilité verte.

Ensuite, M. ABGRALL dit : « Les lampes, établies pour une tension de 110 V sont utilisées, par intercalation d'un autotransformateur dans le circuit, sur courant de 140 V ». On ne peut dire « établies pour une tension de 110 V ». Il faut dire, à mon avis, « des lampes établies pour une température déterminée ». En effet, nous avons tous observé que telle ou telle lampe était normalement fabriquée par le constructeur, pour une vie de 800, ou de 1 000 ou de 1 200 heures, suivant que le filament est porté à des températures plus ou moins élevées.

Par conséquent, on ne doit pas caractériser une lampe par une tension, mais par une température correspondant à l'émission d'un spectre lumineux, à peu près déterminé pour une nature de filament donnée.

M. BOSSU. — C'est une question de brillance des filaments et on peut l'exprimer par le nombre de watts consommés par bougie.

M. ABGRALL. — Un nombre donné de lumens par watt correspond à une certaine température du filament. Je me place ici au point de vue pratique, et non au point de vue de la science pure.

M. CABET. — Au point de vue de l'étalonnage des lampes, nous constatons couramment que des lampes de marques différentes et portant la même indication de watts ou de bougies, ont une brillance plus ou moins grande, par conséquent fonctionnent à une température plus ou moins élevée.

Or, étant toutes à 110 V, elles devraient donner le même nombre de bougies.

M. ABGRALL. — Il serait souhaitable que, pour la comparaison des lampes de studios, on puisse déterminer leur spectre, le nombre de watts par bougie et la vie en régime survolté. La vie de la lampe est en raison inverse du degré de surlension adopté et de la température du filament.

M. CABET. — Ces lampes étant établies pour une marque cyclique, il y a lieu de tenir compte du volant thermique constitué par le

gaz contenu dans le ballon, et secondairement de la surface de refroidissement. Pour une certaine pression du gaz, on obtient un volant thermique qui augmente la durée de la vie de la lampe.

M. ABGRALL. — Personnellement, je suis de votre avis sur ce point. C'est une erreur d'employer des ampoules de diamètre trop réduit. J'estime, par exemple, que même pour des lampes de 250 V qui n'ont pas un rendement extraordinaire, le diamètre du ballon qui est d'ordinaire de 60 à 80 cm devrait être normalement de 100.

J'ai obtenu ainsi des résultats nettement supérieurs pour les lampes de 250 V et 500 V.

M. CABET. — C'est à ce point de vue que j'ai fait faire des lampes spéciales remplies avec du gaz sous pression; dans une lampe de 150 W, j'arrive à faire entrer le volume ou le poids de gaz contenu normalement dans une lampe de 1 000 à 1 500 W.

Ainsi on retarde la volatilisation du filament et on accélère la radiation des calories vers l'extérieur.

M. BOSSU. — Quel est l'ordre de grandeur de la pression dans l'ampoule après un quart d'heure de fonctionnement?

M. CABET. — Les lampes ne sont pas faites, sauf des cas spéciaux, pour fonctionner pendant un quart d'heure en pleine marche. Il faut tenir compte que l'on tourne normalement 18 m de bande à la minute. C'est déjà long, et même très long. Or, dans la technique des films modernes, quand on a des bouts de bande d'un seul morceau, c'est-à-dire des fragments de 7, 8 et 10 m, c'est beaucoup. Dans les films extramodernes on descend à 1 mètre et quelquefois moins. Par conséquent, comme on n'a besoin de plein feu sur une lampe que juste pendant le temps où on tourne effectivement, il n'y a pas lieu d'envisager des périodes de plein feu de 15 minutes qui correspondaient à 170 m de film, alors que les boîtes ne contiennent que 120 m de film négatif vierge.

Je m'associe à la demande de M. Abgrall, je l'avais formulée déjà, il y a quelques mois, à la Société Française de Photographie. Je disais qu'il serait heureux que les électriciens et les photographes collaborent pour mesurer, sur le film panchromatique, la puissance à dépenser avec différentes sources de lumière, avec ou sans écran correcteur, pour produire une densité de noircissement déterminée, et inversement, de mesurer la valeur du noircissement produit par la dépense d'un watt-heure avec les différentes sources envisagées.

Enfin, il serait désirable de connaître dans quelle proportion telle ou

telle radiation de ces sources de lumière est intervenue pour déterminer le noircissement sur une émulsion envisagée. Cela permettrait de connaître l'appropriation la meilleure de telle source de lumière à telle émulsion photographique. Ceci contribuerait à l'établissement d'un étalon chimico-photographique destiné à mesurer la qualité des émulsions. Le « billage », pour employer un terme usuel en métallurgie, d'une émulsion, paraît aisément réalisable par la prise photographique d'une gamme de teintes étalonnées, éclairées d'une manière requise.

Je ne prétends pas que ce mode opératoire soit absolument précis ou donne des résultats irréfutables, mais il fournirait un moyen expérimental facile pour contrôler la valeur semi-exacte d'une émulsion très rapide, que parfois on donne comme panchromatique et qui, au bout d'un temps déterminé peut, s'être plus ou moins altérée.

M. LE PRÉSIDENT. — Dans les lampes spéciales fournies en Italie par la Maison Edison, on m'a dit que la pression était de 4 ou 5 fois la pression normale, cela me paraît beaucoup.

M. CABET. — On arrive, à froid, à deux fois la pression normale.

Il y a un grave inconvénient à employer de gros ballons à très forte pression de gaz, car il peut se produire des fêlures et même quelquefois des explosions. Ces explosions, je les ai constatées dans les lampes de 2 kilowatts et demi environ, mais jamais dans les lampes de 150 à 500 W.

J'ai fait des essais pour étudier l'emploi des lampes à filaments métalliques, complétant le spectre des tubes à vapeur de mercure. Je suis arrivé à des résultats sensiblement analogues à ceux que vous énonciez tout à l'heure. J'ai cependant trouvé une proportion de lampes à filaments métalliques un peu plus forte que celle que vous indiquiez. Elle serait, en puissance électrique consommée, de 4 kW en lampes à filament métallique, contre 1 kW en tubes à vapeur de mercure. Mais ceux-ci étaient en usage depuis plusieurs années déjà, et je ne puis pas assurer qu'ils fussent dans les conditions optima de fonctionnement.

M. LE PRÉSIDENT. — J'ai donné les résultats publiés par le journal anglais dont j'ai donné lecture. Mais si je regarde attentivement les photographies, j'ai également l'impression qu'il faut aller plus loin qu'il y est indiqué.

M. CABET. — J'ai essayé des lampes dites à spectre solaire, à forme cylindrique, que j'avais décrites il y a 4 ans, qui ont été depuis mises

dans le commerce. Comme ces lampes sont surtout des lampes médicales, destinées à donner, du moins je le crois, des rayons infra-rouges, particulièrement pour les traitements cutanés, elles fournissent beaucoup de rayons inutilisés par la photographie actuelle; leur puissance électrique totale devrait être de 6 fois celle des tubes à vapeur de mercure employés simultanément.

M. LE PRÉSIDENT. — Je désirerais avoir maintenant l'avis des praticiens du cinéma.

M. CHATEAU. — Je crois que dans la discussion de tout à l'heure sur la propagation des radiations émises par le cratère et par la flamme des arcs, il s'agissait beaucoup plus de la position géométrique des charbons que de la nature intrinsèque de la flamme.

Il y a aussi la question de durée d'éclairage pour le film. Pour tourner le film, il faut une minute et demie. Les metteurs en scène demandent souvent la lumière avant le moment de commencer à tourner, puis ils laissent tout allumé : ce sont des opérateurs et non des techniciens.

M. CABET. — Les opérateurs et les metteurs en scène veulent avant tout ne rencontrer aucune difficulté matérielle. Ils veulent pouvoir se consacrer entièrement à la réalisation de leur œuvre artistique, et les possibilités électrotechniques sont souvent laissées de côté par eux, mais il est bon de les prévoir.

J'ai fabriqué des lampes pour des sélections trichromes destinées à la photogravure; on peut laisser ces lampes à plein rendement pendant un quart d'heure, mais c'est beaucoup plus qu'il ne faut aux prises de vues cinématographiques et les artistes sont loin de se plaindre des baisses de lumière.

M. BOSSU. — Nous avons fait une enquête, il y a deux ou trois ans, dans les studios cinématographiques sur la question des coups de soleil, et nous avons proposé la solution de faire un éclairage moyen pour la mise en scène, et de monter en plein feu au moment de la prise. Nous avons été très mal reçus.

M. CABET. — Si on emploie le montage en série-parallèle, les lampes placées en série reçoivent chacune 55 V ou la demi-tension, et éclairent relativement peu. Cela correspond à peu près à la sensibilité rétinienne pour la perception de l'image. Mais les metteurs en scène trouvent toujours qu'on n'y voit pas assez clair, sans faire d'ailleurs la plupart du

temps aucune mesure précise; ils s'en remettent à une impression visuelle sujette à caution.

Si on emploie le courant continu, on ne peut guère réaliser qu'un montage en série-parallèle, autrement on serait amené à utiliser des résistances trop importantes.

La véritable solution économique est l'emploi pur et simple du courant alternatif, tel qu'il est fourni en basse tension par le secteur. Dans ces conditions, au lieu de faire un montage en série-parallèle. Il est préférable d'employer un auto-transformateur dont le circuit secondaire est monté en série sur le circuit d'alimentation de la lampe. Quand on n'excite pas le primaire, le circuit secondaire, ou gros fil, forme self et fait tomber la tension d'une quantité dépendant de la caractéristique du circuit magnétique; quand on excite le primaire, on fait monter la tension dans le circuit secondaire de la lampe dans une proportion déterminée qui peut ne pas être la même. C'est la solution économique. Ainsi l'auto-transformateur peut n'être établi que pour l'augmentation de puissance correspondant au dévoltage-survoltage.

M. DUMONT. — Le photographe a constamment besoin du courant continu; il ne peut pas s'alimenter sur l'alternatif. Il est impossible de trouver dans les studios les points de connexion nécessaires.

M. CABET. — Nous sommes d'accord pour ce qui concerne les studios déjà installés. Mais les électriciens ont le devoir de chercher les meilleurs rendements et c'est la technique qui doit guider la pratique.

M. DUMONT. — Il faudrait faire des quantités de circuits.

M. CABET. — Dans les conditions actuelles, on est obligé d'avoir du courant continu; mais par la suite, je pense qu'en laissant le continu pour les gros projecteurs (on n'est pas encore arrivé à remplacer convenablement dans les gros projecteurs l'arc par l'incandescence), la consommation la plus importante sera celle des lampes à incandescence qui peuvent être alimentées en courant alternatif alors que la moindre consommation sera en continu. On réalisera ainsi de grosses économies de place, de matériel, de main-d'œuvre.

M. DUMONT. — Il est prouvé par l'expérience de chaque jour qu'on arrive à consommer une intensité du même ordre pour films panchromatiques, avec la lampe à arc, les tubes à vapeur de mercure ou les lampes à filament.

M. X. — La consommation comparée des trois natures de sources est la suivante :

Si on prend pour unité celle de l'arc à flamme ordinaire, celle d'une lampe à vapeur de mercure est 3,69; celle d'une lampe à incandescence de 1 000 W, 5,80.

Nous avons fait un essai de studio, où je m'étais fait fort d'éclairer une superficie de 30 m² avec 100 A. Nous avons tourné sur panchromatique. Les résultats étaient seulement un peu gris. Cela donne une intensité acceptée par les metteurs en scène, de 3 A par mètre au lieu de 10 A comme d'habitude.

M. CABET. — Dans un studio installé à Paris, un Directeur disposait d'une puissance représentée par 5 et il avait de grandes difficultés à éclairer un champ déterminé.

Il a modifié l'installation pour employer des lampes survoltées; le champ est convenablement éclairé bien que la puissance soit réduite à 3. L'économie est donc de 2 sur 5.

M. DUMONT. — Quelle est la grandeur du studio?

M. CABET. — Il n'est pas vaste, mais le résultat peut être le même pour un plus grand.

M. DUMONT. — On n'a pas éclairé de grands décors avec ces lampes.

M. CABET. — Si vous dépensez 100 watts dans des lampes à incandescence ou 100 watts dans des lampes à arc, la chaleur sera évidemment la même, mais le rendu chromo-photographique sera à l'avantage de l'incandescence.

M. MATIGOT. — Je demanderai à M. Abgrall d'apporter une légère rectification à son rapport : il a parlé, pour les projecteurs, de miroirs en aluminium; il s'agit, en réalité, de miroirs en un alliage spécialement étudié. Il est probable que la qualité du miroir joue un rôle dans le problème qui vient d'être discuté.

M. DUMONT. — Je dois faire connaître que la ventilation des lampes à atmosphère gazeuse pour prise de vues n'est pas du tout obligatoire. Nous avons à l'heure actuelle des lampes qui n'ont pas besoin de ventilation, même pour des régimes très élevés. Elles donnent satisfaction pour les grands studios où l'aération est plus facile à réaliser, les lampes pouvant être plus espacées et placées à une plus grande hauteur.

En résumé, à l'heure actuelle, on peut dire que d'après des essais très sérieux que je n'ai pas le temps d'exposer et qui viennent d'être

faits dans un grand studio parisien, on peut obtenir, avec des lampes à incandescence non ventilées un résultat tout à fait comparable à celui qu'on peut obtenir avec des lampes à charbons.

En ce qui concerne le mélange des sources, je suis obligé de reconnaître que c'est un problème très difficile. M. DIDIÉE assure cependant qu'on peut y réussir.

M. DIDIÉE. — Je partage votre avis : le problème est très difficile. Il importe avant tout, et c'est une confirmation de ce que nous disions tout à l'heure, que la lumière soit homogène, que si les acteurs se déplacent, les radiations qu'ils reçoivent ne changent pas. Il faudrait arriver à mélanger mécaniquement les sources de lumière et c'est tout un problème.

Je répète que les renseignements que j'ai donnés sont purement documentaires et qu'ils indiquent simplement une proportion approximative.

M. MATIGOT. — En ce qui concerne les puissances respectives à employer en lampes à arc ou en lampes à incandescence, on peut dire que, dans une installation de lampes à incandescence bien faite, les lampes étant bien réparties, bien ventilées et munies de bons réflecteurs, on ne dépasse pas de beaucoup la consommation des arcs, même à flamme bleue ou jaune.

M. LE PRÉSIDENT. — Je crois que nous pouvons clore la discussion sur ce sujet. Je regrette qu'au cours de notre voyage récent en Amérique, nous n'ayons pu voir de grands studios et vous apporter d'intéressants renseignements. Nous avons pu voir, dans le laboratoire de Nela Park, un portant pour studios de cinéma de 4 lampes à incandescence de 10 kilowatts. On nous a montré aussi des lampes destinées à l'éclairage d'un terrain d'atterrissage. Leur puissance atteint 50 kilowatts; elles pourraient être utilisées dans les cinémas, pour des projecteurs.

M. X. — La difficulté n'est pas de fabriquer des lampes puissantes, mais de calculer les miroirs de projecteurs.

Je crois que l'avenir est aux petites sources très nombreuses, permettant d'obtenir un rendement aussi bon que possible.

M. LE PRÉSIDENT. — Vous n'arriverez pas à supprimer les projecteurs qui répondent à des besoins spéciaux.

M. X. — On a prouvé expérimentalement, en Allemagne, que la

lampé de 50 watts est la plus économique si on considère le prix du courant et le prix d'une lampe de rechange pour une énergie lumineuse donnée, par exemple un million de lumen-heures.

MM. DOURGNON et WAGUET présentent leurs rapports sur *les projecteurs de lumière à miroir parabolique et sur les dispositifs antiéblouissants applicables aux projecteurs d'automobiles à miroir parabolique de révolution* (1).

M. BOSSU. — Un fait, qui n'est pas assez connu et sur lequel les conférenciers n'ont pas appuyé, est l'impossibilité de réaliser pratiquement un seul éclairage satisfaisant à la fois aux deux conditions exigées par les automobilistes, c'est-à-dire l'éclairage en route libre, et l'éclairage de croisement. Beaucoup d'inventeurs cherchent de tels systèmes qui permettraient de voir suffisamment clair pour conduire vite, tout en n'éblouissant pas les usagers rencontrés. Nous avons fait des essais sur route avec de bons éclairages B; nous avons remarqué que les objets paraissent à l'automobiliste si déformés par « l'éclairage bas » ou B qu'il est impossible de les reconnaître *instantanément* quand on marche à des vitesses de 40 à 50 km : h.

Il ne faut pas oublier que dans ce cas, la « vision » du conducteur est moins bonne, en raison des trépidations qu'il subit. J'ai souvent cité comme exemple le cas d'une charrette montée sur de très hautes roues; on commence pas distinguer deux barres verticales, ce sont les cercles des roues et on ne se rend compte nettement de l'obstacle qu'à moins de 25 m de lui.

D'autre part, un point très important pour le problème des croisements, est la nécessité de produire un *contraste*, c'est-à-dire une *variation* dans l'éclairage donnant à l'usager rencontré la notion de ne plus être ébloui.

En effet, une surface *très grande* éclairée uniformément, d'une brillance égale à une bougie et demie par centimètre carré, permettrait de marcher à vive allure; mais les abords de la voiture seraient beaucoup trop éclairés et la vision au loin serait gênée; de plus, de telles surfaces éblouiraient l'usager rencontré. Les ouvertures des projecteurs B sont de l'ordre de 20 à 25 cm de diamètre; une telle surface éclairée de façon uniforme (ou d'une brillance d'une bougie et demie par cm²), n'éclaire pas suffisamment pour distinguer les objets lointains et l'on est obligé d'avoir des projecteurs A puissants pour voir au loin, ces projecteurs devant être éteints lors d'un croisement, seuls les projecteurs B doivent être alors allumés.

(1) Ces rapports paraîtront dans un *Bulletin* ultérieur.

D'autre part, nous avons fait, avec M. Jouaust l'expérience suivante : nous avons considéré les surfaces de deux projecteurs uniformément éclairées et présentant une brillance de 1 bd:cm^2 .

Nous avons eu d'abord l'impression d'être éblouis, à cause de l'obscurité de la nuit, mais néanmoins nous distinguons parfaitement le fond de la limousine, c'est-à-dire un plan en arrière des projecteurs, quoiqu'il ne fût éclairé que par une lampe dont l'intensité était de l'ordre de 1 à 3 bougies décimales (un petit plafonnier).

Ces remarques indiquent la difficulté du problème du croisement, et la nécessité de produire un contraste effectif entre les projecteurs A et B.

La qualité essentielle du projecteur A (celui de grande route libre pour lequel on a toute liberté) est d'éclairer *loin, haut et large*. Il est, en effet, nécessaire d'éclairer une grande largeur dans les courbes sur la route et à une grande hauteur, pour voir parfaitement la frondaison des arbres, et afin de pouvoir distinguer les objets le plus loin possible en profondeur.

Certains projecteurs produisent des éclairagements suffisants à un kilomètre, avec des angles de divergence de l'ordre de 3 à 4 degrés. Leurs lampes légèrement dépolies, ou « granitées » donnent également un bon éclairage près de la voiture.

Avec de tels projecteurs on peut rouler à 100 km : h, la nuit, sur une bonne route, et sans avoir l'impression d'être gêné.

Un autre avantage, qui permet de conduire très rapidement la nuit, si vous avez des projecteurs puissants qui portent au loin, c'est qu'automatiquement les obstacles s'éclipsent ou se rangent à la vue du faisceau. On peut dire qu'un faisceau lumineux puissant est plus efficace qu'un avertisseur sonore.

D'autre part, avec des projecteurs extrêmement puissants, un problème difficile se pose.

A quel moment doit-on éteindre ses projecteurs? Je crois avoir fait la meilleure réponse à cette question : sitôt qu'un automobiliste vous signale d'éteindre vos projecteurs, vous devez répondre immédiatement en éteignant vos projecteurs A et en allumant vos projecteurs B. Je ne crois pas qu'on puisse trouver une solution plus simple, à cause des distances très variables auxquelles on commence à être ébloui par un projecteur puissant. Avec certains projecteurs A, on est ébloui à un kilomètre de distance.

Je reconnais que cette solution, bonne pour les automobilistes, ne s'applique, ni aux cyclistes, ni aux piétons, ni, naturellement aux animaux.

M. Roux. — Un dispositif breveté en Amérique en 1917 et utilisé actuellement comporte un miroir parabolique coupé en deux ; on utilise l'exfocalisation.

En plaçant la source en S (entre F_1 et F_2), les rayons qui tombent sur la demi-parabole supérieure, sont dirigés vers le bas, et ceux qui tombent sur la demi-parabole inférieure convergent, puisque le foyer

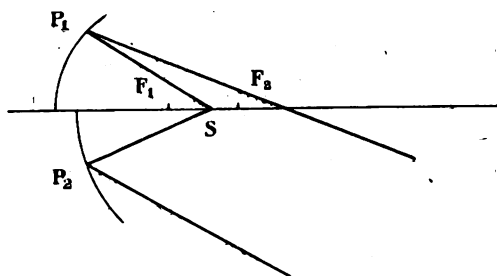


Fig. 1.

est en avant. Les rayons divergents de la partie inférieure se trouvent être parallèles aux rayons réfléchis par la partie supérieure.

Le faisceau est parfaitement délimité, à condition que le paramètre de la parabole soit assez grand.

Il y a un point sur lequel on n'a pas assez insisté, et qui constitue le principal défaut de la plupart des projecteurs d'automobiles actuels : on veut ramasser le plus grand flux possible, les paraboles sont profondes à paramètre très court, de sorte que la longueur du filament par rapport à la distance focale de la parabole, prend une grande importance et donne une grande divergence. Avec de tels dispositifs, il est impossible d'avoir des faisceaux bien délimités et il faut basculer énormément le projecteur ; on projette alors, au pied de la voiture, des taches lumineuses intenses qui éblouissent.

Pour appliquer la formule de M. Bossu, éclairer haut, loin et large, il faut avant tout, des lampes extrêmement puissantes et on ne peut les mettre sur de petites voitures, dont les dynamos ont, en général, un débit insuffisant. On compte sur la batterie, mais pour des voitures qui font de grands voyages de nuit, elle est trop rapidement déchargée. Elle ne devrait alimenter que le démarrage, les feux de position, le feu arrière, etc...

M. WAGUET. — En ce qui concerne l'éclairage de route, je suis d'avis qu'il faut éclairer loin, mais cependant ne pas chercher à dépasser une certaine distance limite, fonction évidemment de la vitesse maximum du véhicule. Je ne crois pas qu'il soit nécessaire d'éclairer à un kilomètre, même dans le cas des voitures rapides,

Il faut surtout éclairer large, parce qu'il est indispensable de voir les abords. Éclairer juste la route, n'est pas suffisant : il faut que l'automobiliste puisse se rendre compte de ce qui se passe en dehors de la route. Il peut très bien venir, d'un chemin transversal, une voiture maraîchère mal éclairée; avec un faisceau strictement limité à la route, elle serait aperçue probablement trop tard.

Il ne me semble donc pas qu'il y ait intérêt à vouloir éclairer à très grande distance, car ce serait dans la plupart des cas au détriment de la largeur du faisceau.

M. Roux. — Il serait avantageux d'avoir un projecteur A à faible divergence, et un autre projecteur qui ferait l'éclairage large. Il existe un projecteur américain (qui n'est pas sur les marchés français), qui répond à ces conditions. Il a l'avantage d'avoir un paramètre très grand; le flux utilisé paraît faible.

Il comporte un réflecteur dont la partie supérieure est une parabole à grand paramètre, et donne un faisceau parallèle très bien délimité. La partie inférieure est une surface qui n'est pas de révolution, et qui donne un éclairage uniformément réparti au pied de la voiture, où il ne se produit donc plus de tache lumineuse; l'éclairement dépasse 20 lux à 25 m, il est à peu près uniforme, plutôt un peu plus fort à distance : on ne bascule pas le projecteur, la lampe fixe reste toujours allumée; évidemment, on ne peut éclairer avec un tel dispositif à plus de 50 m de distance.

M. WAGUET. — Qu'entendez-vous par éclairer à 50 m ?

M. Roux. — Produire un faisceau qui rencontre le niveau de la route à 50 m. Vous avez un faisceau, réparti de façon à donner sur la route un éclairement uniforme; le faisceau ne peut être réglé horizontalement, car les cahots de la voiture lui donnent, au-dessus de l'horizontale des inclinaisons de plus d'un degré. A 50 m, vous éclaireriez à 2 m au-dessus de la route. Cela prouve qu'on peut faire des dispositifs qui répondent au code de la route.

M. WAGUET. — Ce que je disais tout à l'heure, c'est que les constructeurs veulent utiliser leur outillage. C'est à la demande de certains constructeurs même, que nous avons fait l'étude.

M. Roux. — Le code tolère jusqu'à présent une bougie et demie par cm^2 . Je crois que le projet élaboré par M. Bossu demande 5 lux à 25 m, ce qui nécessite une source de 3 100 bd.

M. WAGUET. — A l'heure actuelle, il y a des dispositifs qui donnent largement 5 lux, qui les dépassent même.

Je crois qu'une nouvelle réglementation devrait être mise en vigueur, concernant la répartition du flux lumineux dans le faisceau.

M. ROUX. — Avec le nouveau code, on pourrait utiliser un disque de 50 cm de diamètre avec une brillance de 25 bd:cm².

M. WAGUET. — C'est énorme, il devrait y avoir une réglementation sur la répartition du flux dans le faisceau. On pourrait exiger, par exemple, à une certaine distance de la voiture, un éclairage maximum.

Il arrive de constater, en inclinant un projecteur, des éclairagements de 1 000 lux à 5 ou 6 m de la voiture, par conséquent, vous pouvez avoir 2 lux à 25 m ; vous ne pouvez voir aucun obstacle ; vous êtes totalement éblouis et pourtant ces dispositifs sont légaux.

M. ROUX. — En attendant qu'on ait réussi à améliorer les projecteurs, je rappellerai le dispositif de M. CHRÉTIEN : il consiste en une paire de lunettes en verre, sur lesquelles se trouvent deux pastilles noires à l'écartement des pupilles.

Si les lunettes sont bien posées, l'axe de l'œil passe par l'axe du cercle, et les petites pastilles sont décalées par rapport à celui-ci.

Si vous regardez normalement, les pastilles ne vous gênent pas. Si vous apercevez un projecteur, vous tournez la tête de manière que les pastilles portent ombre sur les prunelles. Vous continuez à voir la route, mais vous ne voyez plus le projecteur.

M. WAGUET. — Cela ne peut être utile que pour des conducteurs de voiture, mais les piétons ne peuvent pas évidemment, porter de pareils dispositifs.

M. ROUX. — Malgré l'efficacité du procédé, il ne faudrait pas renoncer à améliorer les phares.

M. MATIGOT. — Par la pluie sur des routes lisses, il est dangereux d'incliner les projecteurs dans l'axe de la voiture. Récemment, j'ai fait un voyage de nuit dans les Alpes avec une voiture rapide et des phares puissants ; j'étais ébloui et terriblement gêné par la réflexion de la chaussée.

Je crois que la solution moyenne, est de mettre un petit phare bien conditionné sur la gauche de la voiture, et de le braquer au contraire,

avec un angle relativement faible sur la droite. C'est une très bonne solution pour bien voir, sans éblouir les voitures venant de face.

M. WAGUET. — De cette façon, on éblouit très probablement les piétons qui viennent en sens inverse du véhicule.

M. MATIGOT. — C'est une question de propriétés des miroirs employés, et plus encore d'inclinaison précise à observer.

Des réalisations anti-éblouissantes sont réalisées pour les projecteurs d'avions, la difficulté est donc d'ordre, non pas technique, mais commercial.

Séance du Mercredi 24 Octobre 1928.

**3^e SECTION. — ELECTROCHIMIE. — ELECTROMÉTALLURGIE.
PILES. — ACCUMULATEURS.**

SOMMAIRE :

Résumé des rapports de MM. LEVASSEUR et BUNET sur l'électrolyse de chlorures
p. 266. — Résumé du rapport de M. MATHIEU sur un projet de définition des
machines à souder par résistance, p. 268.

Présidence de M. Charles MARIE.

Secrétaire général de la Confédération des Sociétés scientifiques françaises.

M. le Président présente les excuses de MM. DELTON et SARROT DU
BELLAY, qui ont été dans l'impossibilité de venir discuter leurs rap-
ports.

M. LEVASSEUR résume l'exposé général de *l'électrolyse aqueuse des
chlorures alcalins* ⁽¹⁾ servant de préambule aux rapports présentés en-
suite.

Il indique brièvement les réactions chimiques utilisées, les particu-
larités introduites par l'emploi de la circulation avec ou sans dia-
phragme et par celui des cathodes de mercure.

M. BUNET, résume le rapport qu'il a établi sur *la fabrication élec-
trolytique des chlorates alcalins* ⁽²⁾.

Dans un court historique, il rappelle que cette industrie qui, au
cours de la guerre, a rendu de si grands services, a été créée et mise au
point en France. Dès 1887, M. de MONTLAUR et notre collègue
M. H. GALL, ancien Président de cette Section de notre Société, mon-
tèrent le premier atelier de fabrication à Villers-Saint-Sépulcre (Oise).

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, tome VIII, août 1928,
p. 798.

(2) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, tome VIII, août 1928,
p. 805.

Cette fabrication fut mentionnée dans le rapport du jury de l'Exposition de 1889 et à la fin de cette même année, une usine plus importante fut ouverte à Vallorbe. Puis, vint l'usine de Saint-Michel de Maurienne, en 1892.

MM. BERGÉS et CORBIN appliquèrent dans l'usine de Chedde, ouverte en 1895, les procédés qu'ils avaient perfectionnés, au cours des années antérieures, à Lancey. Du nom de cette usine est venu celui de la cheddite.

M. BLONDIN, fait ressortir l'intérêt des renseignements fournis par M. BUNET, et il exprime le regret que les électrochimistes se montrent, en général, beaucoup trop discrets sur les résultats de leurs travaux.

M. BUNET, résume son rapport sur *l'électrolyse du chlorure de sodium avec cathode de mercure* (1).

Errata. — Le texte qui figure au Bulletin porte « dissout » pour « dissous » et « kilog » pour « kg », systématiquement et à de nombreuses reprises. L'auteur en laisse toute responsabilité à l'imprimeur qui a fait les substitutions et a persisté à les maintenir.

M. BUNET ajoute à la fin que, depuis cette communication, il a fait, en collaboration avec M. MARIE, Président de la 3^e Section, quelques recherches dans le laboratoire de ce dernier. Il a essayé d'électrolyser de même les sels de quelques métaux, d'un emploi industriel et général, et d'une extraction difficile, notamment le magnésium et l'aluminium. On voit aisément, au moyen d'un calcul analogue à celui qui est fait dans le cas du sodium, que l'on pourrait tenter, si l'on avait un amalgame contenant une faible proportion de métal seulement, de procéder à l'extraction de ce métal par distillation du mercure, en arrivant à un prix de revient qui deviendrait intéressant. Malheureusement, peu de métaux permettent l'obtention de l'amalgame avec une stabilité suffisante, et en particulier, l'aluminium et le magnésium naissants sont attaqués immédiatement par l'eau avec formation d'oxyde et d'hydrogène. Du reste, les amalgames de ces métaux, s'ils existent, ce qui n'est pas sûr, n'ont probablement pas été signalés, ni décrits.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, tome VIII, février 1928, p. 192.

M. MATHIEU, présente un *projet de définition des machines à souder par résistance* ⁽¹⁾.

Il propose de les définir par la fréquence et la durée des soudures qu'elles permettent d'exécuter ainsi que par les dimensions des pièces soudées. Il définit encore pour une même machine, le régime fictif équivalent ; il établit et traduit en graphique, les relations d'équivalence entre les différents régimes possibles. Il recherche les conditions de possibilité d'un régime d'après les constantes thermiques de la machine.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série, tome VIII, août 1928, p. 822.

Séance du jeudi 25 octobre 1928.

4^e SECTION. — CANALISATIONS. — DISTRIBUTION GÉNÉRALE. TRACTION.

SOMMAIRE

- 1^o Réponses à faire au questionnaire du Comité d'études pour l'amélioration du facteur de puissance de la Conférence des grands réseaux. — Tarification de l'énergie réactive. — Rapport de M. AILLERET : distinction entre les différentes catégories d'abonnés ; déterminantes économiques, physiques et commerciales du prix de vente de l'énergie réactive ; établissement de la prime fixe sur la puissance réactive dans un tarif binôme, p. 270. — M. LIJOVICI : raisons de tarifier, non la puissance et l'énergie apparentes, mais l'énergie réactive ; nécessité de dénommer la puissance réactive, p. 274. — M. BRYLINSKI : raisons de tarifier la puissance apparente maxima et l'énergie complexe ; nécessité de dénommer l'unité de puissance réactive ; conditions que le nom doit remplir, p. 278. — M. AILLERET : les considérations pratiques doivent prévaloir pour la dénomination de l'unité d'énergie réactive ; logiquement, la tarification de la puissance devrait porter sur une combinaison des puissances active et réactive ; commercialement, il vaut mieux tarifier la puissance apparente, p. 281. — M. de PISTOYE : la proportion de 0.3 entre l'énergie réactive et active est trop forte, p. 283. — M. VILLIERS : le distributeur a intérêt à tarifier la puissance apparente p. 284. — M. AILLERET : la tarification peut porter sur l'énergie réactive, indépendamment de l'énergie active, p. 284. — M. BRYLINSKI : nécessité d'amener toutes les nations intéressées à dénommer la puissance réactive, p. 286. — M. LIJOVICI : le terme fixe de la tarification binôme devrait être proportionnel à la puissance complexe ; inconvénients pratiques de la tarification de la puissance apparente, p. 286. — M. DARRIEUS : la tarification doit porter sur une fonction linéaire de quantités physiques qui se conservent ; critique de la formule binôme, p. 287. — M. BUDEANU : les systèmes de tarification doivent tenir compte de la différence d'intérêt commercial entre les deux espèces d'énergie ; la base de la tarification doit être la puissance réactive ; le coefficient de proportionnalité entre les deux sortes de puissance doit varier suivant les caractéristiques du réseau ; les puissances figurant dans les tarifs binômes ou trinômes doivent être les puissances apparentes ; l'énergie capacitive doit être comptée ou non suivant les cas d'espèce ; dans le cas d'un simple transport électrique, les frais de transport doivent être répartis entre les deux sortes d'énergie, formules permettant de tenir compte du pouvoir déformant de certains appareils ; p. 289. — M. BRYLINSKI : la tarification de l'énergie réactive ne s'applique qu'aux abonnés importants qui peuvent facilement la fabriquer eux-mêmes, p. 293. — M. BUDEANU : urgence de donner un nom à l'unité d'énergie réactive, p. 294. — M. DEMANY : les moteurs auto-compensés rendront peut-être la production de l'énergie réactive plus avantageuse pour l'abonné que pour la centrale, p. 294.
- 2^o Examen et adoption du vœu de la 1^{re} Section, relatif à la réglementation du démarrage des moteurs asynchrones. — M. de PISTOYE : le nouveau projet de règles ministérielles impose le démarrage en étoile-triangle entre 1 ch et 1 1/2 ch p. 295.
- 3^o Traction avec récupération. — M. DELLA RICCIA : système de récupération à subdiviseur de tension ; résultats des essais de Buenos-Ayres ; influence de l'accélération sur la consommation ; nouveau système de commande automatique du combineur, p. 295. — M. SOMAJNI : exposé de son système, p. 305. — M. ANDRIES : récupération en traction à courant continu des tramways et omnibus, con-

- sidérés du point de vue de l'exploitant ; essais d'omnibus avec moteurs compound à la S.T.C.R.P. et aux tramways de Marseille ; essais de tramways avec moteurs Schwend à la S.T.C.R.P. ; les systèmes Della Riccia et Somajni et les essais de Rome et de Milan ; résultats obtenus à la S.T.C.R.P. par des modifications du matériel ; marge d'économie réalisable par la récupération ; avantages du moteur compound ; p. 307. — M. SOMAJNI : nouveaux essais de consommation exécutés à Milan, p. 314. — M. DEMANY : principe des simplifications apportées par M. Heidmann au système Star, permettant de réduire l'importance du survolteur et la consommation d'énergie, p. 314. — M. le Président Gratzmuller : rappel du principe du système Pestarini ; expériences de l'auteur en 1902 sur le transformateur tournant ; fonctionnement ; disposition nouvelle proposée par l'auteur, p. 318. — M. SOMAJNI : différentes caractéristiques entre son système et celui de M. Della Riccia, p. 328.
- 4° Sur la protection sélective dans les réseaux, discussion du rapport de M. Llovici, protection sélective des lignes aériennes et souterraines contre les court-circuits, rapport de M. Fallou, p. 330. — P. KLONINGER : critique du temps ($1/2$ s) indiqué par M. Fallou pour le fonctionnement des relais ; et des relais basés sur l'impédance ; relais de réactance Brown-Boveri, p. 330.

Présidence de M. GRATZMULLER,

Ingénieur-Conseil.

Au nom de la 4^e Section, M. AILLERET présente le rapport suivant sur la :

TARIFICATION DE L'ÉNERGIE RÉACTIVE.

Distinction entre les différentes catégories d'abonnés. — Il est essentiel de mettre à part les ventes d'énergie aux très gros abonnés, ainsi que les échanges d'énergie entre secteurs. L'importance des intérêts en jeu justifie, dans de pareils cas, une étude individuelle qui peut conduire à des résultats très différents suivant les circonstances de l'espèce.

Nous laisserons également de côté les trop petits abonnés : Pour développer la consommation de cette clientèle, il faut lui présenter des tarifs aussi clairs que possible, et ne pas la rebuter par une tarification dont elle comprendrait mal la portée.

Nous ne considérerons donc que les abonnés moyens, dont la puissance est de l'ordre de dizaine ou de centaine de kilowatts.

Le point de vue économique. — Il est hors de doute que les usagers font dans beaucoup de cas, un véritable gaspillage d'énergie réactive : les transformateurs ou les moteurs, de puissance beaucoup trop grande ou de type mal choisi, appellent un courant magnétisant que les abonnés pourraient souvent réduire, sans qu'il en résulte pour eux de dépenses sensibles. Pour que la tarification incite à cesser ce gaspillage, il faut qu'elle fasse payer l'énergie réactive à un prix au moins égal au

prix de revient pour le réseau. Mais l'expression « prix de revient », dans l'industrie de la distribution a besoin d'être précisé : il s'agit ici du prix de revient partiel que cause la production et le transport d'une unité supplémentaire d'énergie réactive, dans une distribution déjà établie, en vue de la vente de l'énergie active.

Il n'y a aucune raison pour limiter le prix de vente de l'énergie réactive à ce prix de revient partiel, et il est normal de lui faire porter une part des frais fixés, indépendants des puissances transportées, et dont la ventilation peut être faite arbitrairement entre les unités d'énergie active ou réactive.

Dans ces conditions, les abonnés achèteront plus ou moins d'énergie réactive, d'après la comparaison entre son prix de vente par le réseau et ce que leur coûte soit, sa production par des moyens individuels, soit l'emploi d'appareils réduisant sa consommation.

Si le prix de vente de l'énergie réactive était par trop élevé, il pourrait en résulter un nouveau gaspillage économique : les abonnés auraient, en effet, tendance à équiper des moyens onéreux de production de l'énergie réactive, par exemple des batteries de condensateurs. Dans certains cas, les charges de ces installations, compte tenu des sujétions de toutes sortes pour l'usager, sont plus élevées que les prix de production en grand et de transport de l'énergie réactive. L'amélioration du facteur de puissance deviendrait alors un non sens économique et, quelque paradoxal que cela puisse paraître, il serait logique que le Service Commercial d'un réseau, fasse effort pour empêcher un abonné d'équiper des batteries de condensateurs, en lui offrant de l'énergie réactive à un prix plus bas, quoique supérieur au prix de revient partiel pour le réseau.

En somme, le prix de vente de l'énergie réactive doit être assez élevé, pour éviter le gaspillage et vaincre la routine de la clientèle. Il ne doit pas être par trop élevé pour ne pas amener l'abonné à assumer des charges plus importantes que les frais de production en grand et de transport de l'énergie réactive sur le réseau. En fait, ce dernier excès n'est que très rarement à craindre : il peut cependant se produire lorsque le prix de l'énergie réactive est une fraction élevée ($\frac{30}{100}$) du prix de l'énergie active, et que ce dernier prix est lui-même élevé (prix de vente à une tension assez basse, dans lequel les frais de production du courant ne représentent plus qu'une faible part).

Prix de revient de la production et de la distribution de l'énergie réactive. — L'analyse des effets nuisibles de l'énergie réactive (chutes

de tension, pertes joule, et échauffement dans les machines, les transformateurs et les lignes), peut conduire à des formules très différentes suivant les hypothèses faites. M. P. Boucherot ⁽¹⁾ a montré que, si l'on considère un abonné dont la puissance est assez faible, par rapport aux puissances mises en jeu sur le réseau, pour être traitée dans le calcul comme une différentielle, les suppléments de frais causés au réseau par le déphasage de cet abonné sont proportionnels à la quantité d'énergie réactive qu'il absorbe. *Ils sont indépendants de la puissance active prise par le même abonné.* Par contre, le coefficient de proportionnalité dépend du facteur de puissance de l'ensemble du réseau.

Il est donc logique, dans le cas de petits abonnés, de tarifier l'énergie réactive indépendamment de l'énergie active prise par le même abonné, ce qui conduit précisément aux tarifs les plus simples et les plus compréhensibles.

Il en serait autrement dans le cas d'un abonné dont la puissance serait importante par rapport à la puissance totale du réseau. Dans ce cas, les charges du réseau ne croissent plus proportionnellement à la puissance réactive absorbée et elles s'élèvent de plus en plus rapidement au fur et à mesure que le facteur de puissance de l'abonné devient plus faible.

Le point de vue commercial. — C'est une erreur de psychologie que de parler à la clientèle de « pénalisation du facteur de puissance ». Le mot « pénalisation » évoque l'idée d'un arbitraire souverain qui n'est pas agréable à l'abonné et il vaut beaucoup mieux employer le terme plus exact de « tarification de l'énergie réactive ».

Cette tarification sera particulièrement compréhensible si l'énergie réactive est payée indépendamment de l'énergie active. L'abonné a alors l'impression qu'il achète un produit spécial, qu'il est libre, par le choix de ses moteurs, de prendre ou de ne pas prendre et dont la fourniture cause des frais au secteur.

Il est fort regrettable que l'unité d'énergie réactive n'ait pas reçu un nom aussi expressif que possible. La vente en serait certainement beaucoup facilitée.

Le mot d'énergie « réactive » a déjà le défaut de ne pas avoir de signification propre. L'expression d'énergie « magnétisante » eût été préférable au point de vue commercial, parce qu'elle aurait rendu plus compréhensible au client l'usage de cette énergie. Mais une telle

(1) La tarification de l'énergie électrique eu égard au cosinus φ de l'abonné. *Revue générale de l'Electricité*, 19 janvier 1918, t. III, p. 83-89.

expression était défectueuse du point de vue scientifique, la forme « magnétisante » n'étant pas la seule forme de l'énergie réactive.

Il n'y a donc pas à revenir sur cette question, mais en donnant un nom à l'unité correspondante, on concrétiserait en quelque sorte cette grandeur aux yeux de l'acheteur.

L'abonné comprendrait facilement qu'on lui fasse payer une grandeur qui aurait un nom, qui est enregistrée par un compteur et tarifiée à un prix déterminé. Il admet mal qu'on le pénalise pour un facteur de puissance dont il ne comprend pas le sens et qui résulte d'un calcul compliqué où interviennent les indications de deux compteurs.

Une tarification de l'énergie réactive indépendante de celle de l'énergie active peut consister, par exemple, en un tarif horaire qui fera payer les unités consommées à des prix variables suivant les heures et les saisons. Plus simplement, elle peut être constante ou varier en fonction de l'utilisation, comme pour l'énergie active.

La formule la plus simple consiste à dire que « l'unité d'énergie réactive sera tarifiée à n pour cent de l'unité d'énergie active.

Un facteur de proportionnalité de 0,3 a souvent figuré dans les cahiers des charges des concessions, mais il était trop élevé pour entrer dans la pratique des contrats librement débattus. L'administration a d'ailleurs adopté le coefficient de 0,2 pour les cahiers des charges les plus récents.

Une formule qui a été parfois employée consiste à ne taxer l'énergie réactive que lorsque la quantité absorbée dépasse une certaine fraction de l'énergie active absorbée par le même abonné. Le prix de l'énergie active comprend en somme une tranche forfaitaire d'énergie réactive.

Cette méthode a pu être inspirée par l'idée que la puissance réactive ne devient réellement gênante qu'au delà d'un certain facteur de puissance de l'abonné, idée qui n'est pas à retenir lorsque la puissance de l'abonné est faible par rapport aux puissances mises en jeu sur le réseau.

Une telle méthode n'est pas à recommander, car la notion de la puissance réactive considérée comme une fourniture indépendante de la puissance active, pénétrera beaucoup mieux dans la clientèle si les deux tarifications restent complètement distinctes l'une de l'autre.

En règle générale les compteurs doivent être munis de cliquets pour ne pas décompter l'énergie réactive que les abonnés pourraient renvoyer sur le réseau, à l'aide d'une batterie de condensateurs, pendant les heures de nuit où elle ne serait d'aucune utilité pour le réseau.

Cas du tarif binôme. — Une difficulté se présente dans l'application du tarif binôme.

La solution la plus rationnelle consisterait à appliquer la prime fixe au maximum de la quantité.

$$P \text{ active} + k \times P \text{ réactive}$$

k étant le coefficient de proportionnalité admis dans la tarification.

Cette méthode se prête d'ailleurs à un comptage facile.

Une autre méthode, la plus employée, consiste à appliquer la prime fixe à la puissance apparente en kVA.

L'abonné accepte facilement cette méthode, car il raisonne toujours sur les inconvénients du déphasage comme s'il était seul sur le réseau, raisonnement qui n'est exact qu'en ce qui concerne le branchement. Il est vrai que c'est peut-être un plus grand mérite pour une tarification d'être estimée logique par l'abonné que de l'être en réalité.

Malheureusement, cette tarification se prête mal au comptage, faute de disposer d'appareils enregistrant ou indiquant les maxima de la puissance apparente. En fait, on utilise des compteurs enregistrant $UI \cos(\varphi - 30)$ ce qui revient à appliquer la première méthode. Parfois encore, on estime le maximum de la puissance apparente d'après le maximum de la puissance active et la $\tan \varphi$ moyen, rapport des indications des compteurs réactif et actif. Cette estimation est très inexacte, car le déphasage à la pointe est toujours beaucoup plus faible que le déphasage moyen et il est surprenant qu'il y ait encore des abonnés qui acceptent ce mode de calcul, alors même qu'il n'a pas été prévu contractuellement dans la police.

Il paraîtrait donc intéressant de répandre l'idée que la prime fixe peut être basée sur une combinaison linéaire de la puissance active et de la puissance réactive (avec le cliquet empêchant le 2^e terme d'être négatif) au lieu d'être basée sur la puissance apparente. Mais on se heurtera à des habitudes commerciales assez solidement ancrées.

Cas du courant non sinusoïdal. — Le cas de la puissance fictive en courant non sinusoïdal ne présente pas actuellement d'intérêt au point de vue de la tarification. Ce n'est que dans des cas très spéciaux qu'il y aurait lieu d'en tenir compte dans des contrats qui feraient l'objet d'une étude spéciale.

M. ILIOVICI. — Je voudrais surtout répondre à l'affirmation de M. Aillèret que, dans la formule binôme il convient mieux de prendre le terme constant proportionnel à la « *puissance apparente* », parce que la notion de puissance apparente est plus compréhensible pour le client, que celle de « *puissance complexe* ».

Ceci me rappelle un souvenir. Lorsqu'en 1916 ou 1917, l'Union des

Syndicats de l'Electricité s'est occupée de la tarification d'énergie basée sur le facteur de puissance, la grande majorité des membres de la commission chargée de cette étude, surtout les exploitants de réseaux, étaient pour l'adoption de la tarification de l'énergie apparente ou pour la tarification Arno, qui tient compte de l'énergie active et de l'énergie apparente.

J'ai pris parti contre cette façon de voir en me basant surtout sur la non conservation de la puissance apparente et sur le fait qu'il serait difficile de réaliser des compteurs d'énergie apparente simples et suffisamment précis (1).

D'autre part, M. BOUCHEROT (2) a démontré que le supplément de frais est proportionnel à l'énergie réactive de chaque installation.

Ces divers arguments ont entraîné la conviction des membres de la Commission; le principe de la tarification de l'énergie réactive a été adopté ensuite officiellement, avec le rapport 0,3 que nous avons proposé, entre le prix de l'énergie réactive et celui de l'énergie active.

Pendant la discussion, les partisans de la tarification Arno de l'énergie apparente ont développé les mêmes arguments que M. Ailleret, à savoir que les notions de puissance et d'énergie apparentes sont plus à la portée du public que celles d'énergie et de puissance réactive.

Pourtant, la tarification de l'énergie réactive a fait son chemin en France et ailleurs et, aujourd'hui, les ingénieurs sont de plus en plus familiarisés avec ces notions. Il semble donc que le moment est bien choisi pour aller jusqu'au bout et introduire la puissance réactive aussi dans le terme constant de la tarification binôme.

La démonstration de M. Boucherot est valable pour la puissance aussi bien que pour l'énergie; et en ce qui concerne les appareils, ce que nous avons dit en 1917 est encore valable aujourd'hui.

M. Ailleret a bien cité un compteur d'énergie apparente, mais cet appareil comporte deux compteurs, un d'énergie active, l'autre d'énergie réactive, trois différentiels avec engrenage supplémentaire; un axe attaqué par cinq cliquets... On avouera que ce n'est pas un appareil simple.

La Compagnie pour la Fabrication des compteurs construit depuis quelques années déjà, un compteur d'énergie apparente (3) plus simple que le précédent, car il ne compte que deux compteurs et un différentiel...; mais les deux solutions sont pour ainsi dire artificielles, car en

(1) Voir *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, t. VIII, 3^e série de mai 1918.

(2) Voir *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, t. VIII, 3^e série, de janvier 1918.

(3) Voir : ILIOVICI, *Tarification rationnelle*.

fait les compteurs utilisés mesurent les énergies actives, réactives ou complexes.

Du moment qu'on utilise des compteurs ou des appareils de mesure pour déterminer le terme constant de la tarification binôme, il vaut mieux faire mesurer aux appareils ce qu'ils mesurent effectivement, sans artifices qui les compliquent.

Or, M. Ailleret a bien indiqué que la détermination du terme constant par les appareils de mesure est la seule logique; l'autre, qui consiste à relever les indications des plaques apposées sur les machines, pouvant entraîner des abus.

Pour ce qui concerne la formule de tarification, je suis complètement d'accord avec M. Ailleret; c'est d'ailleurs la formule que je propose depuis que je m'occupe de cette question. Je dirai même que, si on prenait l'habitude de tarifier l'énergie réactive indépendamment de l'énergie active, on arriverait à une très grande souplesse dans la tarification. Ainsi, pour les petits abonnés, on ne tiendra compte que de l'énergie active; pour les abonnés moyens, l'énergie réactive serait taxée à un prix (par ex. 0,2 du prix de l'énergie active, ou à un prix déterminé par les conditions d'exploitation du réseau) et, en général, il ne sera pas tenu compte de l'énergie réactive que l'abonné pourra envoyer au réseau (on emploiera dans ce but, des compteurs à cliquets ou à butée l'empêchant de décompter).

Pour les abonnés importants, on pourra adopter des compteurs d'énergie réactive à double ou à triple tarif; une partie de ces tarifs pourraient être spécialisés dans un seul sens, d'autres dans les deux sens. Par exemple, aux heures de pointes, le réseau pourrait demander de l'énergie réactive aux abonnés importants.

M. Ailleret ne paraît pas admettre la méthode qui consiste à ne tarifier que l'excès de l'énergie réactive sur une certaine fraction de l'énergie active ⁽¹⁾.

Pourtant, cette méthode convient bien pour les abonnés moyens. Il ne semble pas, en effet, qu'il y ait lieu de pousser les abonnés moyens à employer des artifices, condensateurs statiques ou autres, pour améliorer le $\cos \varphi$ de leur installation. Or il est facile, en général, d'amener le facteur de puissance d'une installation au voisinage de 0,7 à 0,8, en choisissant des moteurs d'induction convenables et en les utilisant dans de bonnes conditions; tandis que si on veut obtenir des facteurs de puissance supérieurs à 0,8, on sera amené à utiliser des moteurs compensés, beaucoup plus compliqués que les autres, ou à employer des condensateurs statiques ou des compensateurs synchrones.

(1) Voir : ILIOVICI, Tarification rationnelle de l'énergie, *Revue générale de l'Électricité*, 22 août 1927.

Or, il n'y a pas intérêt, pour le réseau, à avoir un grand nombre d'appareils spéciaux. Il en résulte que le distributeur ne doit pas pousser les abonnés moyens à amener le facteur de puissance à une valeur supérieure à 0,8; la tarification de l'énergie réactive devrait donc souvent s'arrêter à cette limite, ce qui revient à ne faire payer que l'excès de l'énergie réactive sur les $3/4$ de l'énergie active.

Cette méthode mérite d'être prise en considération et appliquée souvent aux abonnés moyens, si on ne veut pas les forcer à employer des artifices pour relever le facteur de puissance de leurs installations au-dessus de 0,8.

La question des unités. — Je vais soulever cette question qui n'est pas tout à fait du domaine de la 4^e Section, mais qui a une importance capitale, comme l'indique aussi M. Ailleret dans sa note.

Tant qu'on ne donnera pas un nom à l'unité de puissance réactive, elle ne pénétrera que difficilement dans les habitudes des électriciens.

On sait les difficultés qu'on rencontre à cause du manque de nom pour cette unité. Ainsi on est forcé d'employer des périphrases : on dit que l'énergie réactive est mesurée en unités correspondant au kilowattheure ; ou que le compteur d'énergie réactive est réglé de façon que, pour $\cos \varphi = 0,707$, il donne les mêmes indications que le compteur d'énergie active. Pour éviter de parler d'énergie réactive, on a employé aussi la méthode de tarification, qui consiste à faire payer l'énergie active à un prix qui dépend de $\tan \varphi$, etc...

Certains ingénieurs ont adopté leurs unités, par exemple le watt réactif, ou le voltampère réactif, ou le watt sinus...

M. LE PRÉSIDENT. — Ou le *kilosin*.

M. ILIOVICI. — J'ai proposé moi-même le *watlré*, pour que le nom rappelle qu'il s'agit d'une grandeur ayant les dimensions d'une puissance, sans en être une.

A mon avis, la grandeur désignée sous le nom de puissance réactive, ne présente que les dimensions d'une puissance, mais c'est une grandeur de nature différente; de même que le *couple* a les dimensions d'une énergie sans en être une.

On a proposé aussi de donner à cette unité le nom de *watt*. Ce serait une faute au point de vue psychologique, d'adopter le même nom pour la puissance active et pour la puissance réactive, car les abonnés ne comprendraient pas qu'ils aient à payer des watts, qui donnent de la puissance mécanique et d'autres qui n'en donnent pas.

D'autre part, pour distinguer les deux unités, on serait amené à

parler de *watts de puissance active* et de *watts de puissance réactive* et, petit à petit, on arriverait à avoir des *watts actifs* et des *watts réactifs*.

J'ai tenu à attirer une fois de plus, l'attention sur la nécessité de donner un nom à l'unité de puissance réactive; je trouve qu'il est absolument nécessaire que les commissions compétentes prennent une décision à ce sujet, la Société Française des Electriciens pourrait prendre l'initiative de provoquer cette décision.

M. BRYLINSKI. — Nous sommes en ce moment dans le domaine de la 4^e Section et de la 1^{re} Section, nous nous occupons donc d'un point de vue pratique et, par conséquent, je laisserai de côté les considérations scientifiques; je parlerai cependant de la *dénomination de la puissance réactive*, car c'est pour moi une question essentiellement pratique.

D'abord, je ne vois pas d'avantages réels à changer le mode de *tarifification du terme de puissance*, dans les tarifs actuellement basés sur la puissance apparente. Cette puissance apparente peut être constatée d'une façon pratique. On peut faire des raisonnements extrêmement subtils sur la façon dont il faut établir les tarifs; il est à craindre que le principal résultat soit de les compliquer beaucoup sans leur donner de base plus scientifique car, comme le faisait remarquer M. Ailleret, le tarif ne peut résulter rigoureusement du prix de revient du courant à livrer à un abonné, c'est seulement un résultat moyen parce qu'il est généralement impossible d'établir le prix de revient du courant pour chaque abonné, et surtout parce qu'il serait impossible de faire un tarif spécial à chaque abonné, chacun se considérant comme lésé s'il a un tarif plus élevé que le voisin. L'abonné ne comprend pas qu'un kilowatt-heure ne soit pas un kilowattheure, et que les kilowattheures qu'il consomme puissent coûter plus cher que ceux du voisin.

Cette notion est tellement répandue qu'elle a retenu l'attention du Conseil d'Etat, qui attache une grande importance à l'égalité de traitement des abonnés placés dans les mêmes conditions; on a dû insérer dans les cahiers des charges types, une clause assurant l'observation de cette condition.

Il est rare qu'on fasse à un abonné d'éclairage un tarif spécial, car alors il faudrait justifier ce tarif et l'accorder à tous les abonnés dans les mêmes conditions de puissance, de consommation, etc... ce qui entraînerait de grandes complications en matière d'éclairage.

Il faut qu'un tarif réalise deux conditions; M. Ailleret, qui a étudié ces questions depuis longtemps avec beaucoup d'intelligence, s'en est parfaitement rendu compte. Tout d'abord, il doit être aussi simple

que possible. Vous me direz peut-être, qu'un tarif binôme est moins simple qu'un tarif monôme et qu'on ne devrait, dès lors, pas l'adopter. Si on est arrivé au tarif binôme, c'est qu'on a dû renoncer, dans bien des cas, au tarif monôme, employé tout d'abord et qu'on y a été obligé par les faits eux-mêmes; mais il faut que ce tarif binôme soit aussi simple que possible. Il n'y a pas de doute que la base de la puissance apparente maximum, soit la base la plus simple qu'on puisse voir et elle ne peut léser l'abonné, car il ne s'agit pas de se baser sur la puissance de l'abonné dans toutes les conditions de son exploitation. il n'est pas question à cet égard des cosinus φ de 0,2 ou même de 0,4, bien que M. Illović ait fait des compteurs très sensibles qui permettraient d'en tenir compte, il s'agit de mesurer la puissance apparente au moment où elle est maximum, c'est-à-dire quand il y a des déphasages acceptables.

En second lieu, il faut tenir compte de la psychologie de l'abonné; il est habitué à payer sur la puissance apparente. Si vous voulez le faire payer sur une autre base, qu'elle soit la puissance réactive, ou une combinaison de puissance réactive et active, il faudra lui expliquer qu'il a eu tort de payer sur la puissance apparente jusqu'à présent. Il pourra se figurer qu'il a été lésé dans le passé, puisqu'on va le faire payer sur quelque chose de différent. Cela pourrait créer des situations délicates sans utilité pour personne.

Je crois avoir inauguré en France, le paiement de l'énergie réactive; je l'ai appliqué dans une distribution malgré certaines résistances. C'est moi qui ai saisi de la question l'Union des Syndicats de l'Électricité et c'est à la suite de ma demande qu'a été créée la 12^e Commission, qui a étudié la question en 1916 ou 1917.

Pour faire payer l'énergie réactive, j'ai employé la forme simplifiée *d'énergie complexe* qui semble ajouter de l'énergie réactive à l'énergie active; en réalité, le principe était qu'on payait l'énergie active à un certain tarif et l'énergie réactive à un autre plus bas.

Je me défends d'avoir voulu créer une nouvelle unité par l'emploi du mot complexe; c'est une simple facilité pratique que j'ai eue en vue, car il est facile de multiplier par 0,3 le nombre d'unités réactives consommées, et de l'ajouter aux kWh pour faire un tout qu'on multiplie par le prix unitaire. C'est une question d'établissement de quittances et non une question scientifique.

Il est pratiquement indispensable, pour nous distributeurs, de donner un nom à l'unité de puissance réactive; l'absence de dénomination a été la principale difficulté à laquelle je me suis heurté, quand j'ai voulu faire payer l'énergie réactive, car tout acheteur éprouve le besoin de nommer ce qu'il achète. Je ne pouvais baptiser moi-même

l'unité de puissance réactive et je n'ai trouvé personne, à cette époque, pour comprendre la nécessité de le faire; or, le principe est simple. c'est celui qu'a rappelé M. Ailleret. Nous produisons de l'énergie réactive, nous la livrons, nous devons donc la faire payer. Or, pour vendre une marchandise, il faut qu'elle ait un nom et une unité de mesure définie.

Quand on achète un bidon de pétrole, on achète un certain nombre de litres; on ne sait pas d'ailleurs ce qu'est du pétrole, pas plus que nous ne savons ce qu'est l'électricité, mais on sait ce qu'est un litre; quand on achète un kilowatt-heure d'énergie électrique, on sait qu'on achète un kilowattheure, c'est-à-dire quelque chose qui permet de faire brûler des lampes déterminées pendant un temps déterminé; si nous voulons vendre de l'énergie réactive, il faut donner un nom à l'unité de puissance réactive. Je dis « puissance réactive » car il est d'usage, dans la distribution de l'énergie électrique, de faire dériver l'unité d'énergie de l'unité de puissance en ajoutant le mot heure. C'est un usage défectueux; en ce qui concerne l'énergie active, dont l'unité est le kilowatt-heure, ceux qui l'emploient oublient presque toujours le mot heure, et on voit figurer dans des rapports des kilowatts qui représentent tantôt des puissances et tantôt de l'énergie, sans qu'il soit toujours aisé de savoir ce que l'auteur a voulu dire. Mais c'est une habitude acquise et je crois que nous ne pourrons pas la modifier. C'est donc à l'unité de puissance réactive qu'il faut donner un nom.

Ce nom ne peut être le watt. Je laisse de côté le point de vue scientifique. M. Ilievici a rappelé que la puissance réactive est quelque chose d'assez spécial, qui se distingue par certains côtés de la puissance active. Du point de vue des abonnés, ce serait créer une confusion dont on ne pourrait sortir. Un abonné ne pourrait comprendre qu'il achète certains kilowatt-heures, pour faire tourner son moteur dans certaines conditions, et qu'il faut acheter encore d'autres kilowatt-heures qui viennent s'ajouter à ceux-là, qui sont différents des premiers, qu'on ne peut étalonner de la même manière et dont le tarif n'est pas le même. Du point de vue commercial et pratique, ce serait la plus grave erreur à commettre.

Le courant sinusoïdal est le seul courant qui, dans la pratique, doit être envisagé, car les difficultés d'exploitation ont fait que la plupart des génératrices actuelles ont des harmoniques très réduits, de sorte que les courbes de tension se rapprochent suffisamment de la sinusoïde, pour qu'on puisse les appeler pratiquement sinusoïdales actuellement.

Il faut donner à l'unité de puissance réactive un nom spécial, qui doit répondre à un certain nombre de conditions : il doit d'abord être

court. Je disais que ce ne sont pas des kilovolt-ampères, car, en courant sinusoïdal, la puissance active se mesure en kilovolt-ampères multipliés par $\cos \varphi$, et on n'exprime pas la puissance active en kilovolt-ampères; on ne peut davantage évaluer en kilovolt-ampères la puissance réactive, qui se mesure en kilovolt-ampères multipliés par $\sin \varphi$.

Il faut donc un nom spécial, qui doit d'abord être court car il faudra nécessairement le faire précéder du préfixe : kilo et le faire suivre du suffixe : heure. C'est une double nécessité à laquelle on ne peut échapper et si le nom proposé était long, on arriverait à une complication trop grande. Il faut encore qu'il réponde à certaines conditions d'euphonie; certaines lettres ne sont pas acceptables devant le mot heure, il faut donc veiller à ce que ce nom ne se termine pas par certaines voyelles ni par certaines consonnes. Toutes ces conditions sont assez compliquées à remplir.

Je voudrais dire pourquoi le mot *wattré* proposé par M. Iliovici ne me paraît pas convenable; j'y vois deux raisons d'abord, il a deux syllabes, par conséquent il faudrait quatre syllabes pour dire : le kilowattréheure et cela entraînerait des confusions avec le kilowattheure; le « ré » ne se prononcerait plus et il y aurait des confusions continues, entre puissance réactive et puissance active; de plus wattréheure n'est pas euphonique.

Autre raison plus grave : c'est l'intention qu'a eue M. Iliovici, en baptisant son wattré, de le rapprocher du mot watt. Si nous voulons éviter toute confusion auprès des clients, et c'est le but cherché, il est au contraire indispensable de prendre un nom, qui ne rappelle en rien le nom de l'unité de puissance active.

Je voudrais dire un mot aussi de la proposition faite par nos amis roumains, d'employer le mot *sin*, qui présenterait un inconvénient grave; dans le langage courant, il est l'abréviation de sinus, et je ne crois pas que nous ayons le droit de l'employer dans un autre sens. A chaque instant, dans une équation on écrit sin de quelque chose; nous ne pouvons en faire un nom d'unité.

M. LE PRÉSIDENT. — M. Ailleret a signalé le terme puissance magnétisante; puisqu'il est abandonné, on ne peut le prendre et je le regrette car ce qu'on fait payer au client, c'est la puissance magnétisante, dont il a besoin.

Mais enfin, que ce soit sous un nom ou sous un autre, l'énergie réactive existe sur les réseaux; la somme totale de la puissance réactive est nulle, ce que l'un fournit, l'autre le consomme. Il y a donc un intérêt évident à la nommer.

M. AILLERET. — En ce qui concerne le nom de cette unité, les con-

sidérations développées par M. Brylinski du point de vue de la psychologie de l'abonné sont essentielles; il faudrait leur donner le pas sur les considérations scientifiques.

M. Iliovici nous a donné à ce dernier point de vue, des raisons qui ne suffiraient pas à me convaincre : La notion d'énergie réactive n'est pas sans rapport avec celle d'énergie active, puisqu'elle correspond à un phénomène pulsatoire de déplacement des énergies emmagasinées dans les champs électrique et magnétique.

Au point de vue scientifique, le fait que deux grandeurs ne sont pas susceptibles de s'ajouter ni de jouer le même rôle, n'interdit pas de les mesurer par la même unité. Si, par exemple, des êtres vivaient sur un plan dont les propriétés physiques dans le sens d'un axe Ox , seraient extrêmement différentes des propriétés dans le sens d'un autre axe Oy , ils pourraient être amenés à choisir des unités de longueurs distinctes, suivant ces deux directions et cependant le choix d'une même unité n'est pas interdit. De même, pour l'énergie active et l'énergie réactive, qui sont des grandeurs de même dimension, il peut être commode de disposer de deux unités différentes, sans que cela soit nécessaire au point de vue scientifique.

En réclamant un nom pour l'unité d'énergie réactive, ce sont donc des considérations de commodité pratique et d'ordre commercial qu'il faut mettre en avant, plutôt que des questions scientifiques.

M. Brylinski a développé des considérations très intéressantes, sur les conditions auxquelles doit satisfaire le nom de cette unité. Les mots ne doivent pas manquer, même si l'on renonce à prendre celui d'une personne. On pourrait par exemple prendre le mot « réact » et par suite « kiloréact », « réact-heure », « kiloréactheure », mais on y fait des objections.

Il faudra donc chercher un autre terme.

Je voudrais ajouter un mot au sujet de la *tarification de la puissance*. M. Iliovici a fait remarquer que la question est la même que pour l'énergie et que, en pratique, les sommes payées par les abonnés au titre des puissances souscrites arrivent à être d'un ordre de grandeur comparable à celles qui sont payées au titre de l'énergie consommée.

Mais il est curieux de remarquer que, tandis que pour l'énergie on cherche une grande précision dans les compteurs, au contraire pour la puissance, non seulement on ne précise pas s'il s'agit de kVA ou de kW ou d'une combinaison linéaire des puissances actives et réactives mais même, dans la plupart des cas, on ne fait aucune mesure et on taxe l'abonné d'après les critères les plus extraordinaires, par exemple les inscriptions portées sur les plaques des transformateurs. Or, les

indications de ces plaques ne donnent même pas une caractéristique précise de l'appareil, telle que pourrait l'être la puissance uni-horaire ou la puissance en marche continue ou celle correspondant au rendement maximum. Il y a des plaques que l'on croirait faites uniquement en vue de réduire l'effet de la prime fixe, et certains constructeurs indiquent que leurs appareils peuvent supporter, non seulement une surcharge unihoraire de 100 pour cent, mais une surcharge continue de 50 pour cent. Il est manifeste que, dans ce cas, le chiffre indiqué sur la plaque ne signifie rien du tout. La tarification de la puissance porte donc sur des éléments appréciés d'une manière très floue et pouvant donner lieu à des écarts de 30 à 40 pour cent. La définition précise de la grandeur sur laquelle porte la prime fixe n'a donc pas grande importance pratique. La méthode préconisée par M. ILIOVICI est très simple et se prête bien au comptage.

Au point de vue *logique*, je crois qu'il faudrait tarifier la puissance d'après le maximum d'une combinaison linéaire des puissances active et réactive.

Au point de vue *logique*, je crois qu'il faudrait tarifier la puissance LINSKI, nous avons affaire à des habitudes tellement ancrées dans les esprits, que ce serait batailler contre des moulins à vent que de faire une propagande dans ce sens. D'ailleurs, la tarification binôme ne sera peut-être pas éternelle. Elle est simple, mais loin d'être parfaite à bien des points de vue.

En luttant contre l'idée simpliste que la prime fixe doit être nécessairement basée sur la *puissance apparente*, on affaiblirait la propagande nécessaire pour répandre l'idée que les consommations d'énergie réactive et d'énergie active doivent être payées séparément. Cette idée, limitée à la question d'énergie, est déjà assez difficile à faire admettre par les abonnés, et même par bien des distributeurs. Il ne faut donc pas chercher à y faire entrer les notions relatives à la puissance.

M. DE PISTOYE. — La proportion de 30 pour cent souvent adoptée entre le prix de l'énergie réactive et celui de l'énergie active, est manifestement un peu élevée. Considérons, en effet, un abonné absorbant 1 kW à $\cos \varphi = 1$ et un autre absorbant 1 kVA à $\cos \varphi = 0,8$. Pour $\cos \varphi = 0,8$, $\sin \varphi = 0,6$; le second abonné paiera donc, pour son énergie réactive, le prix de $1\,000 \times 0,6 \times 0,3 = 180$ W, plus le prix de 800 W d'énergie active, soit au total le prix de 980 W ou sensiblement le même prix que le premier abonné. Il paraît inadmissible de faire payer le kWh au même prix que le kVAh à $\cos \varphi = 0,8$, car le charbon dépensé, et l'amortissement de tout le

matériel à vapeur ne sont pas négligeables. D'ailleurs, avec une formule basée sur le prix de l'énergie réactive, il y a toujours une valeur du facteur de puissance inférieure à l'unité pour laquelle le kVAh à ce facteur de puissance est vendu au même prix que le kWh, ce qui paraît défectueux.

M. VILLIERS. — Je crois qu'au point de vue du distributeur, il faudrait *conserver la tarification, actuelle basée sur la puissance apparente*, ou, ce qui revient au même, sur l'intensité en ampères, car ce qui coûte aux distributeurs, c'est le réseau capable de transporter cette intensité.

M. AILLERET. — Ce raisonnement ne me paraît pas exact. Les lignes sont dimensionnées, soit par la chute de tension, soit par les pertes. Je prends par exemple, la chute de tension dans une ligne. Elle a pour expression :

$$RI \cos \varphi + L\omega I \sin \varphi$$

ou :

$$\frac{R}{U} P + \frac{L\omega}{U} \pi.$$

Supposons que cette ligne alimente un certain nombre d'abonnés et cherchons l'effet de la puissance réactive absorbée par un seul d'entre eux, pour avoir l'effet nuisible sur le réseau. Il faut comparer ce qui se passe suivant que le client considéré prend ou non de l'énergie réactive. S'il prend une puissance $d\pi$, la chute de tension supplémentaire dans la ligne considérée serait $\frac{L\omega}{U} d\pi$; elle est indépendante de la puissance active prise par le même abonné.

Ceci ne s'applique naturellement pas aux branchements qui ne servent qu'à l'abonné lui-même et suppose que la puissance prise est faible, par rapport aux puissances mises en jeu sur le secteur. Sous cette réserve, il faut considérer la puissance prise par l'abonné comme une différentielle.

Les installations sont déjà dimensionnées pour transporter la puissance des autres clients, par conséquent, la tarification appliquée à un abonné doit être basée sur les suppléments de dépenses qu'il cause au réseau, soit au point de vue de la chute de tension, soit au point de vue de la dégradation de l'énergie en pertes Joule.

Que l'on envisage l'un ou l'autre de ces points de vue, si l'on considère, non pas l'abonné isolé, mais l'abonné s'ajoutant aux effets des absorptions de puissance par le reste du réseau, on trouve qu'il y a réellement proportionnalité entre les effets nuisibles pour le secteur,

et la puissance réactive prise par l'abonné, quelle que soit la puissance active qu'il appelle en même temps.

La tarification peut donc porter sur l'énergie réactive indépendamment de l'énergie active. Pour de bons $\cos \varphi$, une telle tarification conduit à des taux plus élevés que les formules assez courantes pour lesquelles on ne commence la pénalisation qu'à partir de 0,8, en indiquant, par exemple, que le prix de l'unité d'énergie active sera majoré de 2 pour cent par centième de $\cos \varphi$ au-dessous de 0,8. Avec cette dernière formule, le prix de l'unité de l'énergie réactive commence par être nul, puis augmente jusqu'à un certain déphasage, et enfin devient de plus en plus petit au fur et à mesure que le facteur de puissance devient plus mauvais.

A la limite, un abonné qui ne prendrait que de l'énergie réactive, sans consommer d'énergie active ne paierait rien du tout; c'est évidemment une conséquence anormale.

M. ILIOVICI a envisagé tout à l'heure les tarifications dans lesquelles on donne une sorte de franchise aux abonnés, en leur disant : nous vous donnons droit forfaitairement à une certaine quantité d'énergie réactive qui sera, par exemple, la moitié de l'énergie active. Quand vous aurez consommé 100 kWh, vous aurez droit à 50 unités d'énergie réactive pour rien. Je crois que cette méthode est défectueuse au point de vue psychologique, car elle ne ferait pas pénétrer dans la clientèle la notion de la nature séparée des deux énergies active et réactive. Elle introduit d'ailleurs un coefficient de plus, et secteur et abonné pourront discuter à perte de vue sur la valeur à donner à cette franchise qui n'a pas de raison d'être fixée à 50 pour cent, plutôt qu'à 30 pour cent ou à tout autre chiffre. Cette méthode a cependant l'avantage qu'elle se prête facilement au comptage ; d'autre part, elle se rapproche beaucoup des tarifications en usage, puisqu'elle ne fait pas payer du tout l'énergie réactive pour les faibles déphasages, mais je crois qu'il n'y a pas à s'étonner du fait que lorsqu'un client a un $\cos \varphi$ de 0,8, la dose d'énergie réactive qu'il absorbe majore sa facture de courant.

Bien entendu, la considération développée par M. VILLIERS serait tout à fait rigoureuse pour les branchements sur lesquels ne passe que le courant destiné à un seul abonné, mais les diamètres de ces branchements ne sont souvent déterminés que par des considérations mécaniques de diamètre minimum ou par la nécessité pratique de ne pas changer constamment les sections des conducteurs.

Le cas des branchements est donc sans grand intérêt. Du moment que l'on considère une ligne importante, ce ne sont plus les kVA

pris par un client déterminé qui mesurent la charge supplémentaire qu'il impose au réseau.

M. BRYLINSKI. — Je n'ai pas proposé de nom pour l'unité de puissance réactive ; ce serait prématuré, car le jour où on adoptera un nom, il devra l'être internationalement. Il faut donc voir non seulement parmi nos anciens présidents, mais encore parmi tous les savants français et étrangers, celui qui mériterait qu'on prenne son nom ; il y a donc un travail de préparation à faire internationalement, mais il faudra d'abord convaincre les autres pays qu'on doit donner un nom à l'unité de puissance réactive. Nos amis roumains sont convaincus qu'il faut en donner un, et nous aussi et je m'en félicite car ce résultat représente douze années de travail patient, mais il y a d'autres pays à côté de nous, je ne pourrais pas citer lesquels, car j'ignore jusqu'à quel point ils ont évolué, qui peuvent n'être pas encore convaincus. Les Italiens, par exemple, ne voulaient pas, en 1920, donner de nom à la puissance réactive, les Anglais non plus ; les avons-nous convaincus depuis lors ? Il est permis d'en douter. Il faut y arriver. *La première chose à faire est donc de convaincre la plupart des autres nations importantes qu'il faut se décider à donner un nom à l'unité de puissance réactive*, et alors on cherchera un nom internationalement : ce serait une fausse manœuvre de proposer prématurément un nom pour cette unité.

Si nous examinons cette question, c'est parce qu'il y a un Comité international d'études qui s'en occupe à la Conférence des grands réseaux, dont le rapporteur est un professeur qui a étudié la question d'une manière très intéressante. Je ne diffère plus avec lui que sur les détails.

M. ILIOVICI. — Si on n'adopte pas pour la puissance réactive le nom de *watré* ou un autre différent du *watt*, mais rappelant celui-ci, on pourrait suivre la méthode employée pour la plupart des unités pratiques et lui donner le nom d'un savant.

Je proposerai volontiers le nom de *Mascart*, mais pour tenir compte des observations de M. BRYLINSKI, je proposerai celui de *Bouty*, qui a été président de notre Société.

Il est préférable que l'initiative vienne du côté des Français et qu'on adopte le nom d'un savant de notre pays.

Pour ce qui concerne la puissance qu'il faut faire intervenir dans le terme constant de la *tarification binôme*, je ferai remarquer que la démonstration de M. BOUCHEROT s'applique à la puissance ; il en ré-

sulte que le terme considéré doit être proportionnel à une *puissance complexe* appropriée.

On ne voit d'ailleurs pas pourquoi les abonnés, qui acceptent la tarification de l'énergie active et de l'énergie réactive, ne comprendraient pas que le terme constant de la tarification binôme doit dépendre des puissances correspondantes.

D'autre part, si on veut appliquer la méthode indiquée par M. AILLERET, on dispose de deux moyens : 1° compter la puissance apparente maximum installée, d'après les plaques des moteurs ou d'après la plaque du transformateur qui alimente l'ensemble de l'installation. M. AILLERET a indiqué les inconvénients de cette méthode, qui incite à inscrire sur les plaques des puissances inférieures aux puissances réelles ; 2° tenir compte du maximum de puissance donnée par un compteur à « indicateur ou enregistreur de maximum ». Si on veut tenir compte de la *puissance apparente* d'une façon suffisamment directe, on devrait employer un compteur analogue à celui indiqué par M. AILLERET ou à celui de la Compagnie des Compteurs et dont j'ai signalé la complication.

Une solution approchée, mais très simple, consiste à appliquer l'indicateur de maximum à un ampèreheuremètre, solution souvent adoptée ; mais dans ce cas, il vaut mieux convenir nettement de tenir compte du maximum du courant et non du maximum de puissance apparente.

Il est aussi simple d'appliquer l'indicateur de maximum à un compteur d'énergie complexe réglé de façon qu'il donne la puissance apparente pour $\cos \varphi = 0,866$ (le courant étant déphasé en arrière sur la tension). Un tel appareil est un compteur d'énergie active, dont les circuits « volts » sont montés d'une façon convenable.

Les abonnés accepteront d'autant plus facilement cette façon de faire, que la solution leur est favorable : 1° parce que le compteur, plus simple, est aussi moins coûteux ; 2° parce que, pour $\cos \varphi$ différent de 0,866, la puissance indiquée par le compteur est plus faible que la puissance apparente. Si donc le maximum de puissance a lieu pour $\cos \varphi = 0,866$, ils payeront une somme fixe plus faible que si on tenait compte de la puissance apparente.

M. DARRIEUS. — Le rapport de M. AILLERET, insiste fort clairement et opportunément sur le fait mis en évidence par M. BOUCHEROT, que toute quantité que l'on prétend tarifier ne peut être logiquement que fonction linéaire de quantités physiques qui se conservent. A ce point de vue encore, la tarification de l'énergie réactive aura été utile

en soulignant des difficultés de principe auxquelles n'échappait déjà pas le comptage de l'énergie proprement dite. Il convient, en effet, de ne jamais perdre de vue que le comptage de l'énergie électrique, contrairement à celui de l'eau, ou du gaz par exemple, ne saurait constituer, par son principe même, qu'une approximation rudimentaire, notamment par suite de ce que les pertes Joule sont fonction quadratique et non linéaire des charges. C'est un point que nous avons abordé sommairement à Lyon, en mars 1926, au Congrès pour l'utilisation du courant en dehors des heures de pointe, et qui mériterait d'être étudié du point de vue des distributeurs, car les réflexions qu'il suggère, tout en rendant plus indulgents pour certaines formes à première vue sommaires de tarification, remettent par contre en question le fondement logique d'autres formes couramment admises et réputées plus rationnelles, comme la formule binôme.

En effet, les raisonnements qui ont conduit aux formes actuelles de tarification admettent tous, plus ou moins, cette hypothèse implicite et erronée, justement dénoncée par M. AILLERET, que l'abonné est seul ou que tous les abonnés sont de même espèce, de sorte que s'il y a cent abonnés par exemple, chacun se verrait équitablement imputer le centième de la pointe. Or, s'il est juste que l'exploitant se préoccupe de la pointe et du capital investi, il ne l'est pas de supposer *a priori*, comme le fait la formule binôme, que la contribution de chaque abonné à cette pointe est au prorata de la puissance souscrite ; tandis que la tarification multiple, en usage en Suisse, est, tant pour l'énergie réactive que pour l'active, plus souple et conforme aux lois de conservation, tout en étant sans doute préférable du point de vue psychologique.

M. GIRAULT. — Je voudrais, au sujet du *nom*, me faire l'écho d'une suggestion qui pourra sembler inattendue, après ce qui a été dit au sujet des conditions à remplir par un tel nom. A plusieurs reprises, on a proposé en ma présence le nom de BOUCHEROT ou des abréviations de son nom pour l'unité de puissance réactive.

La proposition peut sembler inattendue en ce sens que BOUCHEROT n'est pas mort, que son nom est trisyllabique et enfin que la première syllabe n'est pas euphonique et s'associe mal avec le mot heure.

Peut-être pourrait-on prendre l'ensemble des deux premières syllabes, ou même à la rigueur son prénom, mais celui-ci a le désavantage d'être peu caractéristique étant commun à beaucoup d'entre nous.

J'ai cru devoir vous transmettre cette suggestion plusieurs fois entendue. Je le fais sans grand espoir immédiat ; mais il me plairait que l'on en tînt compte, car s'il est un nom universellement associé à la notion de la puissance réactive, c'est bien celui de BOUCHEROT.

M. BUNET. — On pourrait, peut-être adopter le prénom de Watt.

M. BRYLINSKI. — Je rappelle qu'il est de règle absolue qu'on ne peut donner à une unité que le nom d'un mort. Je pense donc que personne ne souhaite que le nom de BOUCHEROT puisse être proposé aujourd'hui, ni demain.

M. DELLA RICCIA. — Etant donné que la pulsation figure dans l'expression de la puissance réactive, je suggère d'adopter « Pulse » « kilopulses » « kilopulsheures ».

M. BUDEANU. — Je me déclare d'accord sur le rapport de M. ALLERET, à part quelques point de détails.

D'abord, je crois que tout le monde est d'accord pour considérer l'énergie réactive comme pouvant faire l'objet d'une fourniture commerciale.

Le distributeur d'énergie *fournit* à l'abonné l'énergie réactive, comme l'énergie active, mais il a quelquefois intérêt à traiter le commerce d'énergie réactive d'une manière un peu différente. Mais il est des cas particuliers où le distributeur d'énergie ne doit pas se contenter de tarifier l'énergie réactive, pour considérer le problème comme pratiquement résolu.

En effet, il se trouve parfois dans l'impossibilité de produire rationnellement l'énergie réactive. Il doit alors la produire, ou à la centrale ou, tout au moins, assez loin des abonnés, sans avoir pratiquement la possibilité de remédier d'une manière efficace aux effets de sa présence. Dans cette situation se trouvent, par exemple, les réseaux desservant, en basse tension, des appareils plus ou moins mobiles, dans le cas, par exemple, d'exploitations minières, de travaux agricoles, de certaines applications industrielles, etc... Tous ces types de réseaux transportent généralement de la puissance réactive en grande quantité et, comme les effets de celle-ci se localisent plutôt sur la basse tension, le distributeur se trouve dans l'impossibilité de prendre des mesures efficaces pour éviter la circulation, justement là où elle se fait ressentir d'une manière plus aiguë.

Alors, ou l'on renonce à s'occuper de la puissance réactive, ce qui n'est pas très recommandable, ou on la traite comme une fourniture

commerciale, mais en incitant, autant que possible, les abonnés à la produire directement.

D'une manière générale, on retrouve la même situation lorsque des conditions particulières ne permettent pas de réduire efficacement la circulation de la puissance réactive.

Dans toutes ces situations, on est forcément amené à traiter le commerce d'énergie réactive différemment du commerce d'énergie réelle.

Les conditions de tarification doivent tenir compte de toutes ces considérations.

Je crois ensuite que nous sommes presque tous d'accord pour considérer que la vraie notion qui doit servir de base à la tarification est celle de la *puissance réactive*.

Aujourd'hui, on emploie encore, malheureusement, quantité d'autres bases de tarification, telles que le cosinus φ , dont il conviendrait de se débarrasser le plus tôt possible. M. BOUCHEROT a suffisamment justifié la tarification sur la base de la puissance réactive.

Pour la valeur du coefficient qui doit figurer dans la formule binôme de M. BOUCHEROT, M. DE PISTOYE arrive au chiffre de 0,3, aujourd'hui officiel en France.

M. BRYLINSKI. — C'est un maximum.

M. BUDEANU. — J'estime qu'il est un peu trop élevé, mais il est difficile d'établir des normes rigoureuses pour sa valeur ; il doit varier beaucoup, spécialement suivant la proportion entre la puissance réactive et la puissance active sur le réseau de distribution.

En effet, M. BOUCHEROT nous a montré qu'avant tout, les préjudices qu'un nouvel abonné apporte au réseau, sont sensiblement proportionnels aux puissances réelle et réactive, P et P_r , absorbées par cet abonné suivant l'expression.

$$\Delta p = KP + K'P_r.$$

Les facteurs K et K' sont des fonctions linéaires des puissances réelle et réactive S et S_r circulant sur le réseau avant le raccordement du nouvel abonné. Cette expression nous donne une idée du préjudice apporté au réseau par ce raccordement, le rapport des coefficients K' et K étant rigoureusement fonction du rapport des puissances S_r et S .

Le raccordement d'un abonné, par exemple, absorbant même une grande puissance réactive, à un réseau ne comportant pas d'autre circulation de puissance réactive, détermine un préjudice sensiblement

moindre que si le même abonné est raccordé à un réseau à grande circulation de puissance réactive. Le premier cas se présente, par exemple, quand on branche un moteur à induction sur un réseau de distribution pour éclairage.

Par conséquent, le facteur K' de la puissance réactive dans la formule de tarification, devrait rigoureusement varier suivant les réseaux ; c'est pourquoi on ne peut logiquement préciser ce facteur et on ne peut pas dire d'une manière générale que 0,3 est trop grand ou trop petit.

Pour préciser cette valeur il faudrait tenir compte des situations particulières de chaque réseau, et aussi de la possibilité de la faire accepter par les abonnés.

En Roumanie, on n'a pas encore de règlement officiel sur cette question et, étant donné qu'on commence seulement à introduire la tarification de la puissance réactive, on a dû s'arrêter à des coefficients inférieurs à 0,3. Je crois que, pour des réseaux à facteur réactif compris entre 0 et 1 (j'appelle *facteur réactif* ou de *réaction* le rapport $\frac{P_r}{P}$), la puissance réactive peut être tarifée de 0,15 à 0,20 de la puissance réelle et, pour des réseaux à facteur réactif plus grand que 1, on pourrait adopter, pour la tarification de la puissance réactive, de 0,20 à 0,25 de la puissance réelle et même 0,30 si on arrive à faire accepter cette valeur par les abonnés.

La question 47 du « questionnaire » demande comment on doit coordonner la tarification de l'énergie réactive avec les nombreux systèmes de tarification de l'énergie électrique.

C'est une question de détail, scientifiquement peu importante, mais qui, pratiquement, pourrait présenter un certain intérêt. On utilise, dans la pratique, beaucoup de systèmes de tarification qui n'ont pas seulement à la base la notion d'énergie, je parle ici de l'énergie réelle, mais aussi d'autres notions telles que la « puissance installée » ou la puissance maximum » ; ce sont des tarifs binômes et même trinômes quelquefois assez compliqués.

Si l'on s'impose, en pareil cas, la condition de tenir compte de la puissance réactive, la tarification doit être proportionnelle à l'énergie réactive et, de plus, il faudrait remplacer les notions de « puissance installée » ou de « puissance maximum », par les notions « puissance apparente installée » ou « puissance apparente maximum », étant donné que ces notions tiennent compte aussi bien de la puissance active que de la puissance réactive.

Ce serait une faute et il serait en tout cas illogique de retenir seulement la notion de puissance « réelle » installée.

On arrive forcément à des tarifs un peu compliqués, mais on y est forcé, une fois adopté le principe de la tarification basée sur la puissance installée.

Passons maintenant à la question 49, concernant *l'énergie réactive de sens inverse*.

On peut distinguer, à cet égard, trois cas bien distincts.

a) Généralement le distributeur d'énergie *peut acquérir* de l'énergie réactive pour la revendre, par exemple à d'autres abonnés raccordés au même réseau ; dans ce cas là, il serait assez raisonnable que l'abonné qui *fournit* cette énergie réactive soit payé pour cette fourniture, mais non au tarif auquel il *l'achète*, étant donné surtout que les frais de transport de cette puissance réactive entre l'abonné qui la fournit et celui qui l'acquiert sont à la charge du distributeur.

Par conséquent, ce serait une faute de déduire simplement pour chaque abonné, l'énergie capacitive de l'énergie inductive ; il faut donc adopter, dans ce cas, deux compteurs d'énergie réactive, enregistrant chacun la circulation de la puissance réactive dans un seul sens.

b) Il se peut que le distributeur d'énergie se désintéresse de l'énergie réactive de sens inverse ; dans ce cas, il n'y aura qu'un seul compteur et dans le sens du réseau à l'abonné.

c) Il se peut que, pour le distributeur, il soit aussi fâcheux de *fournir* que d'*acquérir* de l'énergie réactive. C'est le cas, par exemple, d'une ligne de transport alimentant un seul grand abonné passant successivement d'un régime inductif à un régime capacitif. Dans ce cas, il serait illogique de déduire à cet abonné la *puissance réactive* *fournie* de la *puissance réactive* *acquise*. Il semble même tout naturel que l'abonné paye, dans ce cas, aussi bien l'énergie réactive inductive, que l'énergie réactive capacitive, à des tarifs pour lesquels on pourrait préciser toutefois des valeurs différentes.

Les installations de transport, objet de la question 50, représentent un cas tout à fait particulier. Le *transport* de la puissance réactive se comporte symétriquement par rapport au transport de la puissance réelle. Admettons qu'il s'agisse, en effet, d'une installation assurant uniquement le transport et prenant l'énergie électrique à une centrale située à l'une de ses extrémités pour la transmettre à une société de distribution située à l'autre extrémité. *Les frais exclusifs de*

transport, tels que les frais généraux de l'installation, les pertes ohmiques, etc...., doivent être symétriquement répartis entre les puissances active et réactive. La *tarification de cette opération de transport* doit tenir compte de ces considérations.

Quant à la question du régime non sinusoïdal, je crois aussi que, lorsqu'il s'agit de tarification, on peut pour simplifier, renoncer à en tenir compte, en raison des deux considérations suivantes :

1° Du point de vue de la tarification, il serait évidemment trop compliqué de tenir compte d'un régime non sinusoïdal.

2° A un point de vue plus scientifique, le régime non sinusoïdal est généralement dû à une tension non sinusoïdale existant sur le réseau et non à l'abonné. Il est vrai qu'il en résulte une augmentation de la puissance fictive totale absorbée par l'abonné, mais il serait illogique de faire supporter à celui-ci des conséquences dont il n'est pas responsable.

Il y a pourtant des abonnés qui introduisent un régime non sinusoïdal, même si la tension du réseau est sinusoïdale. Tels sont ceux utilisant des redresseurs, des soupapes, etc... Ces appareils se répandent aujourd'hui de plus en plus, avec des puissances de milliers de kilowatts. Dans ce cas, il faudrait peut-être tarifier aussi les puissances fictives de nature déformante introduites par de tels appareils.

J'ai montré dans mon étude « Puissances réactives et fictives » que dans une première approximation, on pourrait employer une formule de tarification telle que l'expression :

$$c = (K + q)P + (K' + q_r)P_r$$

où P et P_r représentent les puissances réelle et réactive, K et K' les tarifs normaux de ces puissances, q et q_r les augmentations des tarifs K et K' et qui peuvent être précisées en fonction du régime déformant introduit par ces appareils.

En Roumanie, il n'y a pas de décisions prises pour la dénomination de cette unité ; on pourrait donc très facilement se rallier aux décisions officielles internationales qui seraient prises sur cette question.

M. BRYLINSKI. — Je voudrais dire un mot au sujet du coefficient 0,3 ; on s'est ému de la valeur attribué à ce coefficient et on a rompu des lances en faveur des abonnés qu'on supposait lésés ; or, il n'en est rien ; tout d'abord, il n'a jamais été question de tarifier la puissance réactive pour tous les abonnés, ce serait absurde ; on ne propose de tarifier la puissance réactive que pour quelques abonnés, par

exemple des abonnés industriels pour lesquels un compensateur synchrone, en plus de leurs moteurs, ne constitue ni une gêne, ni une charge supplémentaire. Le tarif doit avoir pour but de les amener à produire eux-mêmes la puissance réactive dont ils ont besoin ; or, s'ils produisent cette puissance réactive, le tarif de coefficient 0,3 ne joue plus du tout, par conséquent ces abonnés ne peuvent être lésés.

M. BUDEANU. — Sur la question de la *dénomination de l'unité de puissance réactive* dont il a été question tout à l'heure, j'ai formulé une proposition dans mon étude, mais je n'y insiste pas.

Il m'a semblé que, par des considérations d'uniformité, on pourrait adopter, pour l'unité de puissance réactive, la même dénomination que pour l'unité de puissance réelle et que, par conséquent, on pourrait mesurer la puissance réactive tout simplement en *watts*.

Rappelons-nous que ce procédé est déjà adopté pour les grandeurs résistance, réactance, impédance, toutes mesurées en *ohms*.

M. BRYLINSKI nous indique certaines difficultés d'ordre pratique qui s'opposeraient à cette unification des dénominations des unités des puissances réelle et réactive.

Mais j'insiste sur ce point, d'accord avec M. ILIOVICI, que la question la plus urgente est de prendre une décision sur la dénomination de l'unité de puissance réactive et d'en finir avec l'état d'indécision où nous nous trouvons ; je crois même qu'on est généralement d'accord sur l'urgence de cette décision.

M. LE PRÉSIDENT. — Toute réglementation doit être appliquée par un gendarme, dans l'espèce, sans doute, l'Union des Syndicats de l'Electricité auquel il serait important de pouvoir donner des instructions simples et claires ; cette discussion a montré que c'est difficile, mais il me semble qu'il faudrait tenir compte, autant que possible, de presque toutes les suggestions qui nous ont été faites.

M. DEMANY. — A l'heure actuelle, on peut se demander si les *moteurs auto-compensés* dont la construction se développe de plus en plus, ne vont pas rendre la fabrication de la puissance réactive plus avantageuse pour l'abonné que pour la centrale. Dans ces conditions, il est possible qu'on soit obligé de revenir, non plus à la fourniture de la puissance réactive par les centrales, mais seulement à la pénalisation des puissances réactives trop fortes.

M. LE PRÉSIDENT. — C'est possible, mais il faut éviter, comme l'a remarqué M. AILLERET, le mot de pénalisation.

M. DEMANY. — Un tarif très élevé constitue une pénalisation de fait.

M. le Président donne lecture du vœu de la 1^{re} Section au sujet de la réglementation des moteurs asynchrones et il prie M. de PISTOYE, de résumer les considérations qu'il a développées sur ce point devant la 1^{re} Section.

M. DE PISTOYE résume rapidement ce qu'il a dit à la 1^{re} Section sur les *avantages du moteur asynchrone à cage d'écureuil*, par rapport au moteur à bagues, et sur le développement que prend partout le premier à l'étranger.

Il donne quelques détails sur les difficultés apportées par la réglementation actuellement en vigueur en France (règlement 137 de l'Union des Syndicats de l'Electricité, § 94, 96 et 98), à la construction de ces moteurs en particulier des moteurs à double cage (1).

En raison de ce règlement, ces moteurs doivent être construits avec une capacité de surcharge et un facteur de puissance moindres que ceux exécutés à l'étranger.

Il ajoute :

M. DEFLASSIEUX a eu l'obligeance de me communiquer le texte du règlement ministériel du 6 juin 1928, rédigé après avis du Comité d'électricité. Au-dessus de 1 kW, la nouvelle réglementation est un peu plus libérale que l'ancienne, mais au-dessous de 1 kW, l'ancienne réglementation ne prescrivait pas de courants de démarrage, alors que la nouvelle fixe des chiffres assez stricts, qui obligeront dans bien des cas à *démarrer en étoile triangle* entre 1 ch et 1/2 ch, ce qui sera singulièrement gênant.

Sur la proposition de M. le Président, la 4^e Section adopte le vœu de la 1^{re} Section. M. DE PISTOYE est chargé de préparer un nouveau rapport résumant les considérations qu'il a développées. Le Bureau de la Société sera prié par la 4^e Section de transmettre ces conclusions à l'Union des Syndicats de l'Electricité.

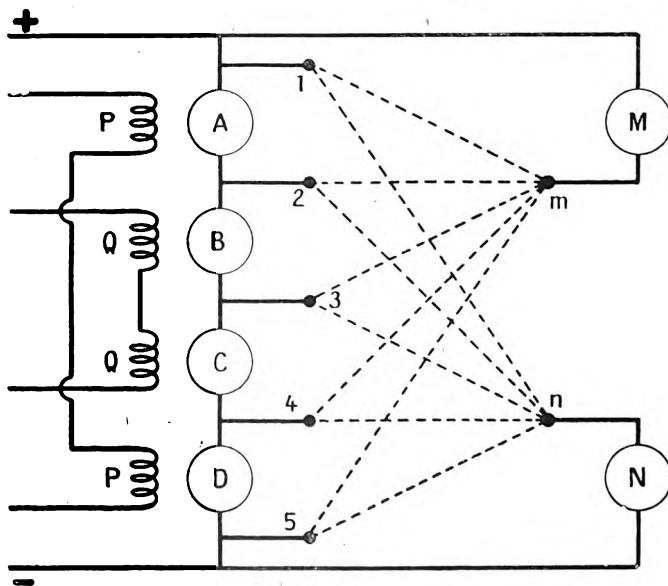
Sur l'invitation de M. le Président, M. DELLA RICCIA expose comme suit :

- a) son système de traction à récupération ;
- b) son système de commande automatique de combinateur.

(1) Voir *Bulletin S. F. E.*, tome IX, n° 89.

a) *Système à récupération.* — Je crois bien faire de rappeler en quelques mots en quoi consiste le système de traction à récupération d'énergie que j'ai imaginé, et qui est actuellement à l'essai dans le Subway de Buenos-Ayres, où un train de deux motrices équipées selon ce système, fait le service des voyageurs.

Il est basé sur l'emploi d'un *subdiviseur de tension symétrique*, comprenant quatre enroulements induits A, B, C, D, en série et portés par un arbre commun. Les deux enroulements extrêmes A et D font partie d'une même armature, et sont soumis à l'action d'un même inducteur P : les deux enroulements intermédiaires B et C font partie



[Fig. 1.]

d'une autre armature et sont soumis à l'action d'un autre inducteur Q. Ce subdiviseur présente donc cinq bornes, 1, 2, 3, 4, 5, entre lesquelles se développent quatre tensions a , b , c , d , que l'on peut faire varier en agissant sur les deux rhéostats de champ des inducteurs P et Q.

On aura continuellement $a = d$, $b = c$, $a + b = c + d = 500$ V si la tension de la ligne est de 1 000 V (Voir fig. 1).

Les moteurs de traction sont répartis en deux groupes symétriques M et N. Dans une première période de démarrage, le groupe M, connecté entre 1 et 2, et le groupe N, connecté entre 4 et 5 (connexions parallèles), sont respectivement soumis aux tensions a et d que l'on fait croître progressivement de près de 0 V à près de 500 V, tandis que l'on fait décroître les tensions b et c de près de 500 V à près de 0 V.

Dans une deuxième période de démarrage, le groupe M, connecté entre 1 et 4, et le groupe N, connecté entre 2 et 5 (connexions croisées), sont soumis respectivement aux tensions $a + b + c$ et $b + c + d$. Si l'on fait décroître a et d de près de 500 V à près de 0 V, et si l'on fait croître b et c de près de 0 V à près de 500 V, les deux groupes de

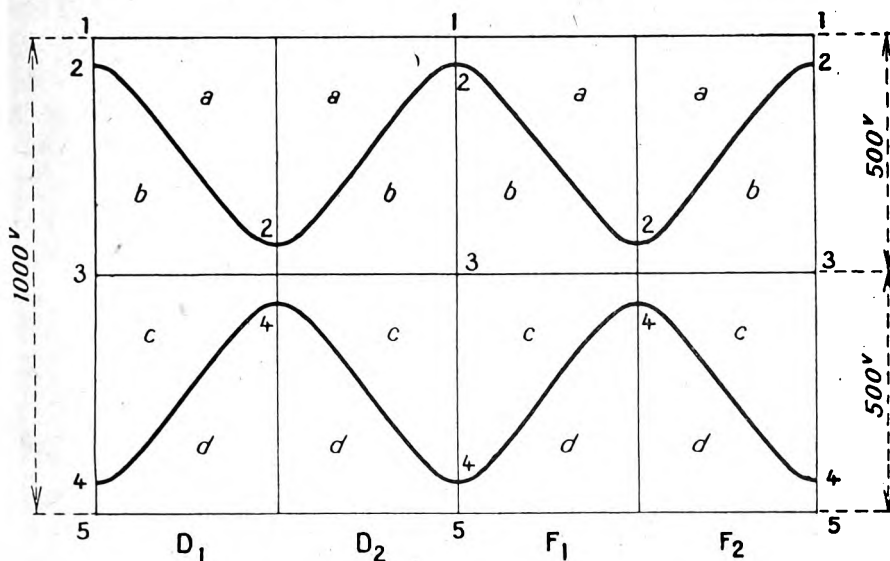


Fig. 2.

moteurs sont soumis à deux tensions croissantes de près de 500 V à près de 1 000 (Voir fig. 2).

Le démarrage s'opère en appliquant aux moteurs une tension toujours un peu supérieure à leur propre force électromotrice.

Au freinage, on opère en sens inverse, en se servant d'abord des connexions croisées et ensuite des connexions parallèles, et en appliquant aux moteurs une tension toujours un peu inférieure à leur propre force électromotrice.

Si l'on se sert, au démarrage, de moteurs excités en série, au freinage, le champ de ces moteurs est décomposé en deux parties, une partie plus importante alimentée par une excitatrice *ad hoc*, entraînée par le subdiviseur de tension fonctionnant partiellement comme moteur, et une partie moins importante constituant contre-compound.

A la fin du freinage sous tension, les moteurs fonctionnant comme générateurs peuvent être fermés en court-circuit.

Les essais de Buenos-Ayres portent sur un train de deux motrices en parallèle, munies d'un système de commande automatique du combinateur basé sur le fonctionnement de plusieurs relais.

D'abord un relais à courant minimum pour déterminer l'avance-

ment du combinateur au démarrage, comme cela se fait dans les motrices de la plupart des chemins de fer métropolitains (Voir fig. 3').

Ensuite, un relais à courant minimum pour déterminer de manière analogue le recul du combinateur au freinage (Voir fig. 3").

Mais alors que le démarrage commence normalement à vitesse nulle, à laquelle correspond une tension nulle, et par conséquent invariable, le freinage peut commencer à des vitesses très différentes, auxquelles correspondent donc des tensions très différentes.

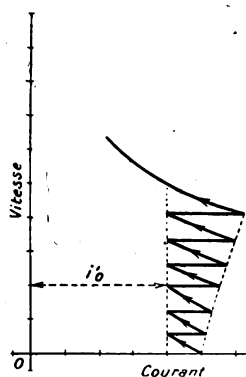


Fig. 3'.

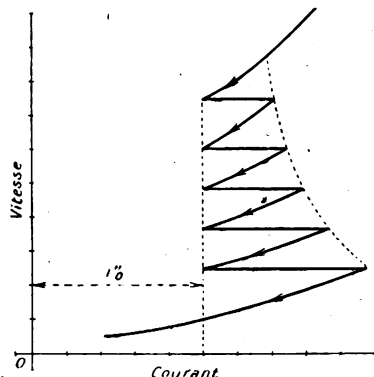


Fig. 3''.

Si la vitesse à laquelle doit commencer le freinage est très élevée, il y a lieu de régler l'excitation des moteurs, afin que leur tension ne dépasse pas trop celle de la ligne. Si la dite vitesse est plus réduite, il y a lieu de régler les excitations du subdiviseur de tension, afin que la tension à opposer par ce groupe à celle des moteurs ne soit pas trop inférieure à celle-ci.

Ce contrôle est confié à deux autres relais destinés à ne permettre les connexions entre moteur et ligne ou subdiviseur de tension que dans deux cas seulement : 1° lorsque la tension des moteurs dépasse celle de la ligne ou du groupe ; 2° lorsque la différence des deux tensions n'est pas excessive.

Ce système de relais me paraissant plutôt compliqué, j'ai étudié, comme je l'annonçais l'année passée, un système plus simple dont je parlerai tout à l'heure.

En attendant, je dirai que les *essais en exploitation courante du train de deux motrices à Buenos-Ayres*, ont confirmé pleinement les résultats des essais faits à Hambourg en 1924 et 1926.

Il y a bien eu quelques incidents, mais tous inhérents à l'état du matériel, qui se ressentait des transformations successives auxquelles

il avait été assujetti. Aucun inconvénient ne s'est présenté que, de l'aveu de l'exploitant, l'on puisse dire inhérent au système de réglage à récupération.

Pour ce qui est de la consommation d'énergie, voici quelques résultats relatifs à la première quinzaine d'octobre.

La ligne, de 6 750 m, est divisée en 13 sections, dont la longueur moyenne est donc $L = 522$ m. Un voyage aller et retour dure de 32 à 35 mn, y compris 24 arrêts intermédiaires de 10 s. Pour simplifier, considérons le voyage fait en 33 mn, correspondant à une durée moyenne $T = 67$ s pour le parcours de la section moyenne. On a donc, dans ce cas :

$$A = \frac{L}{T^2} = 0,116.$$

Avec les motrices ordinaires vides (27 710 kg), on constate une consommation d'environ 59 Wh/Tkm, et avec les motrices à récupération vides (28 180 kg), une consommation d'environ 40,5 Wh/Tkm.

Avec les motrices ordinaires chargées (32 755 kg), on constate une consommation d'environ 54 Wh/Tkm et avec les motrices à récupération chargées (33 180 kg), une consommation d'environ 37 Wh/Tkm.

Toutes ces consommations comprennent les services auxiliaires, ainsi que l'éclairage, sur lequel la récupération est inopérante.

En outre, la consommation à récupération est actuellement accrue par le fait que la tension de l'excitatrice est à peu près le double de la tension nécessaire pour l'excitation des moteurs, ce qui oblige à dissiper plus de 1 Wh/Tkm dans des résistances.

Même sans tenir compte de cette fâcheuse circonstance, on trouve que, au prix auquel est vendue l'énergie à Buenos-Ayres, la différence entre le prix d'un équipement à récupération et celui d'un équipement ordinaire peut être amortie en dix-huit mois par l'économie d'énergie mesurée aux motrices. L'économie d'énergie mesurée aux sous-stations sera plus élevée, mais cet avantage sera compensé par l'augmentation du poids du matériel.

Il se peut encore que la consommation baisse encore, comme elle a baissé jusqu'ici de quinzaine en quinzaine ; car les conducteurs du train, qui, dans la conduite des motrices à récupération ne sont pas aidés, comme dans celle des motrices ordinaires, par des indications *ad hoc* placées dans le tunnel, acquièrent avec le temps une connaissance toujours meilleure de l'outil placé entre leurs mains (1).

(1) Dans les trois semaines qui ont suivi, la consommation a encore diminué un peu.

Il est à remarquer que les conditions de marche indiquées plus haut, donnant $A = 0,116$, sont plus dures que celles de Paris où l'on a, par exemple, pour le Nord-Sud, $L = 490$ m, $T = 70$ s, et $A = 0,100$.

Qu'il me soit permis d'ajouter quelques mots au sujet de cette grandeur $A = \frac{L}{T^2}$, sur laquelle j'ai appelé déjà votre attention l'année dernière, et que je considère comme une caractéristique des conditions de marche.

On peut écrire : $A = (L/T) : T$. Cette grandeur A augmente donc avec la vitesse moyenne L/T , et augmente encore lorsque diminue le temps T au cours duquel est atteinte la vitesse moyenne L/T . La consommation d'énergie varie dans le même sens que la grandeur A , et plus vite qu'elle, suivant une allure parabolique.

On peut se rendre compte de son importance, non seulement par les considérations théoriques que j'ai déjà publiées à ce sujet, mais encore de la manière suivante.

Si on représente la consommation unitaire W_0 , en watt-heures par tonne-kilomètre, en fonction de différents paramètres, tels que l'accélération au démarrage ou la retardation au freinage, la distance entre arrêts successifs ou la durée du parcours de cette distance, la vitesse à la fin du démarrage ou celle au commencement du freinage, ou même la vitesse moyenne réalisée dans le parcours, on obtient, pour chaque valeur d'un des autres paramètres, une courbe, et pour une série de valeurs de ce paramètre, une série de courbes.

Or, il arrive, en général, que cette série de courbes couvre une partie très importante du plan de représentation.

Mais, si on prend comme premier paramètre cette grandeur A , la série de courbes correspondant à une série de valeurs d'un autre paramètre, n'occupe plus qu'une bande très étroite du plan de représentation, les courbes de la série s'entrecroisant sans beaucoup s'éloigner les unes des autres.

Naturellement, si la consommation unitaire W_0 se rapporte à un équipement à récupération, cette bande est encore plus étroite que si W_0 se rapporte à un équipement ordinaire.

(M. DELLA RICCIA, présente plusieurs planches justifiant son affirmation).

b) *Nouveau système de commande automatique du combineur d'un équipement de traction.*

supposons avoir tracé, par rapport à un système d'axes Oi (courants) ON (vitesses) une série de droites $N_{12}, N_{23}, N_{34}, \dots$ équidistantes, dont les ordonnées représenteront les niveaux de la vitesse du train aux moments des passages du combinateur d'un cran au sui-

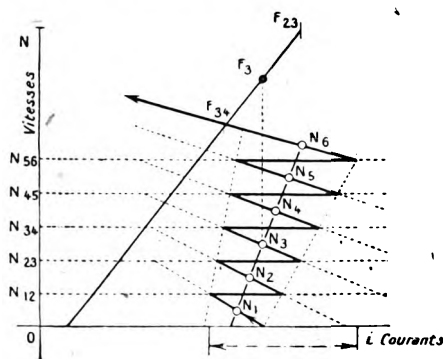


Fig. 4'.

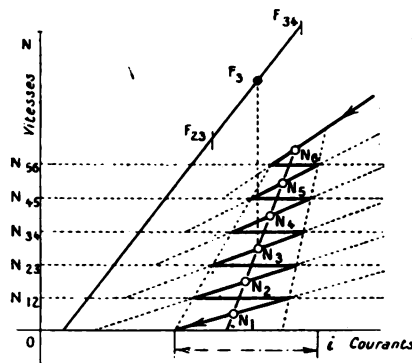


Fig. 4''.

vant (V. fig. 4' pour un démarrage et fig. 4'' pour un freinage), et supposons avoir choisi une série de points $N_1, N_2, N_3, \dots$ correspondant à des vitesses sensiblement équidistantes des précédentes et à des efforts $F_1, F_2, F_3, \dots$ jugés appropriés au démarrage (ou au freinage à réaliser).

Il sera toujours possible de déterminer, en correspondance avec chaque point tel que N_2 , les moyens de réglage de la vitesse des mo-

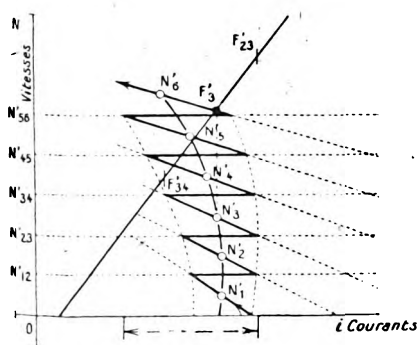


Fig. 5'.

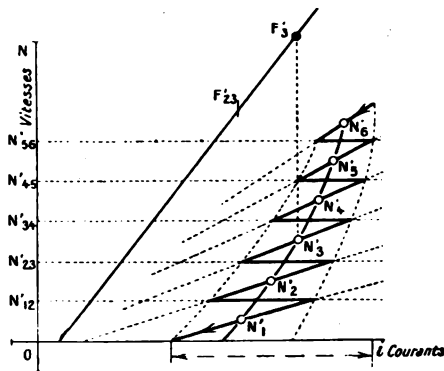


Fig. 5''.

teurs de façon à obtenir, lorsque le combinateur est au cran 2, une courbe de vitesse passant par N_2 . De cette courbe sera utilisé, pendant le démarrage (ou pendant le freinage), seulement le tronçon compris entre les droites N_{12} et N_{23} .

Au cours du démarrage, le combinateur devra être avancé du

Le commutateur K doit être commandé par le combinateur de manière que ce soit (par exemple), la tension U_2 qui s'oppose à la tension U , lorsque ce combinateur est dans la position 2 correspondant à la vitesse N_2 .

Le relais W, polarisé, est réglé de manière à fermer le contact aa lorsque U dépasse U_2 d'un certain écart v , et à fermer le contact rr lorsque U_2 dépasse U d'un écart v .

Dans ces conditions, si la vitesse N est égale à N_2 , le relais W reste inactif ; si la vitesse N dépasse N_2 d'un écart M , le relais W ferme le contact aa ; si la vitesse N_2 dépasse N d'un écart M , le relais W ferme le contact rr .

Si la fermeture du contact aa est utilisée pour faire avancer le combinateur C de la position 2 à la position 3, et si la fermeture du contact rr est utilisée à faire reculer le combinateur c de la position 2 à la position 1, l'adaptation de la position du combinateur C (et par conséquent celle de la position du commutateur K) à la vitesse N du train est obtenue, et cela sans intervention d'aucune grandeur électrique intéressant les moteurs. Cette adaptation se poursuit donc même pendant l'inactivité des moteurs.

Dans la figure 6, il est supposé que la fermeture du contact aa excite un électro-aimant A capable de faire tourner le combinateur C d'un cran vers la droite, et que la fermeture du contact rr excite un électro-aimant R capable de faire tourner le combinateur C d'un cran vers la gauche ; mais d'autres dispositifs peuvent être mis en jeu.

L'ouverture de l'interrupteur x interrompt tout courant dans le relais W et arrête tout changement ultérieur de position du combinateur C. Dans ces conditions, les moteurs restent soumis à un réglage invariable jusqu'à nouvelle fermeture de l'interrupteur x .

La figure 6 représente, en R_1' et R_2'' deux résistances en série entre R_1 (résistance lest) et R_2 (résistance de réglage). La première R_1' est normalement court-circuitée et la seconde R_2'' est normalement en circuit.

Si on court-circuite cette dernière, le courant en R_1 et R_2 augmente, les tensions U_1 , U_2 , U_3 , ... également. Le relais W devient alors inactif pour les tensions U (en X) plus élevées, et correspondant à des vitesses N_1 , N_2 , N_3 , ... plus grandes que N_1 , N_2 , N_3 ...

La figure 5' démontre que, si on augmente les vitesses N_{12} , N_{23} , N_{34} , ... ainsi que les vitesses N_1 , N_2 , N_3 , sans rien changer aux moyens de réglage de la vitesse des moteurs, c'est-à-dire sans modifier les courbes correspondantes, le zigzag de démarrage est modifié dans le sens qu'aux nouvelles vitesses moyennes, correspondent de nouveaux

efforts moyens F'_1, F'_2, F'_3 plus petits que les précédents $F_1, F_2, F_3...$

La figure 5" démontre que, dans les mêmes circonstances, le zigzag de freinage est modifié en ce sens qu'aux nouvelles vitesses moyennes correspondent de nouveaux efforts moyens F_1, F_2, F_3 plus grands que les précédents F_1, F_2, F_3 .

Il s'en suit que la fermeture du contact z court-circuitant la résistance R^1 , a pour effet, soit de ralentir le démarrage, soit d'accélérer le freinage.

Il est évident que l'ouverture du contact y décourt circuitant la résistance R^2_5 produit des effets opposés.

La manœuvre des interrupteurs x, y, z , prête donc à ce système de commande automatique toutes les prérogatives de la commande à la main.

Je ne m'attarderai à décrire, ni les variantes que peuvent subir les dispositions principales décrites ci-dessus, ni les dispositions accessoires que j'ai imaginées pour répondre à différents desiderata.

Je dirai seulement que dans le cas où l'équipement comporte, outre le démarrage, un freinage électrique, comme l'échelle des vitesses moyennes $N_1, N_2, N_3, ...$ relatives au freinage est plus élevée que l'échelle de ces vitesses moyennes relatives au démarrage, il y a lieu de modifier, ou bien le rapport $K = \frac{U}{N}$, ou bien les valeurs des tensions $U_1, U_2, U_3, ...$ lorsque l'on passe du démarrage au freinage, ou vice-versa. Cette modification, quelle qu'elle soit, et de quelque manière qu'on l'obtienne, peut être mise en œuvre par la manœuvre de l'inverseur démarrage-freinage, appareil destiné déjà à modifier les connexions principales entre les moteurs et les moyens employés au réglage de leur vitesse, lorsque l'on passe de l'une de ces opérations à l'autre.

L'application de ce nouveau système de commande automatique du combinateur permettra de simplifier, d'alléger et de rendre moins coûteux l'équipement à récupération de mon système. On peut s'en rendre compte en comparant deux schémas complets, dont l'un représente l'équipement actuel à 4 relais et à organes de conduite compliqués et l'autre l'équipement à venir, à un seul relais et à organes de conduite simplifiés.

M. LE PRÉSIDENT. — Nous avons certainement tous été frappés de la facilité avec laquelle le système de M. DELLA RICCIA permet de pratiquer, par des modifications insignifiantes, la commande automatique ou la commande manuelle. M. le Professeur SOMAJNI nous ayant fait

l'honneur de venir prendre part à nos discussions, je lui demanderai de vouloir bien nous exposer son propre système.

M. SOMAJNI. — Je suis d'accord sur certains points avec M. DELLA RICCIA, qui cependant a suivi une route différente de la mienne. Il sera préférable que je parle une autre fois, d'autant plus que je ferai une communication auparavant qui préparera le public à comprendre mon point de vue.

M. LE PRÉSIDENT. — Je vous demande d'en exposer simplement le principe.

M. SOMAJNI expose le *principe de son système* qui a été décrit en détail dans l'*Energia elettrica*, fascicule 9, vol. V, septembre 1928 et dans la *Revue générale de l'Electricité*.

M. LE PRÉSIDENT. — Depuis combien de temps avez-vous des équipements en service ?

M. SOMAJNI. — J'ai onze motrices à Milan, en service depuis un an et dix mois.

M. LE PRÉSIDENT. — Il me semble que dans vos moteurs, les enroulements inducteurs sont très volumineux, puisque vous avez des ampère-tours shunt et un décompoundage avec des enroulements distincts ; cela doit augmenter les pertes dans le cuivre.

M. SOMAJNI. — Pour les moteurs de tramways, il faut donner aux carcasses un diamètre supérieur d'environ 1,5 à 2 cm à celui qui correspond au moteur série de même puissance. Cette faible augmentation de diamètre est due au fait que le dynamoteur fournit, pour toute excitation shunt, une tension très basse ($1/4$ de la tension de ligne au maximum), de façon que la section de cuivre des enroulements shunt n'est jamais inférieure à 3 mm.

M. LE PRÉSIDENT. — Autant que j'ai cru le comprendre, vos moteurs sont compound dans la marche en moteur, et anti-compound dans la marche en génératrice ; par conséquent, vous avez comme effet utile des inducteurs, la différence des ampère-tours shunt et des ampère-tours série dans la marche en récupération.

M. SOMAJNI. — Oui, dans la marche en récupération j'ai cette différence ; cela produirait, pour un même courant, une certaine réduction

tion du couple déccélérateur par rapport au couple accélérateur. Mais, si l'on considère que, pendant le freinage, toutes les résistances passives favorisent la déccélération et par contre réduisent les accélérations pendant le démarrage et si l'on considère aussi que, à cause de la résistance de la ligne, toutes les tensions et même celle qui alimente les enroulements shunt, sont plus élevées en régime de récupération qu'en régime de démarrage, on se rend compte de ce qui arrive dans la pratique et qui est démontré par les caractéristiques de fonctionnement, c'est-à-dire que, pour des valeurs de courant égales ou inférieures au courant unihoraire, le couple déccélérateur en récupération est toujours un peu supérieur au couple accélérateur.

D'ailleurs, le décompoundage favorise le raccord entre une tension et l'autre en éliminant les à-coups de courant et je suis, par expérience, convaincu que le décompoundage en récupération est une nécessité. Je suis d'accord avec M. DELLA RICCIA, sur l'importance de sa constante. Ainsi, j'ai fait des comparaisons assez précises entre les vitesses moyennes qu'on peut obtenir avec les systèmes ordinaire et à récupération. Nous constatons ce fait, qui ne se rapporte pas seulement à mon système, mais à tous les systèmes de récupération : considérons le diagramme des vitesses (ordonnées) en fonction des temps (abscisses) et supposons que l'accélération au démarrage jusqu'à la mise en court-circuit des résistances soit la même pour l'équipement série normal et pour celui à récupération.

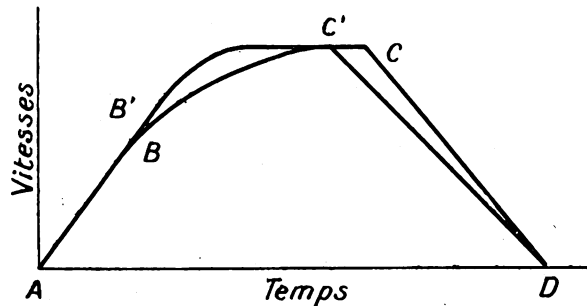


Fig. 7.

Même en supposant supprimée la marche sur l'aire, la marche du moteur série normal est donnée par le diagramme AB (fonctionnement sous résistances) BC (marche sous courant sans résistance) CD (freinage), et la marche du moteur à récupération est donnée par AB' (marche à tension variable) B'C' (marche à tension constante) C'D (freinage en récupération).

On voit que l'aire comprise entre chaque diagramme et les abscisses

est la même, lorsque l'aire $BB'C'$ est égale à l'aire $C'D$, c'est-à-dire que l'espace parcouru dans le même temps est le même, bien que la décélération au freinage (inclinaison des droites $C'D$ et CD) soit moindre pour la récupération que pour le moteur série normale.

La pratique confirme cela. En effet, les motrices à récupération marchent très bien sur toutes les lignes, mêlées aux motrices série, sous la réserve suivante : lorsque la charge est très faible dans le milieu de la journée, où il y a peu de monde, nous voyons que les motrices série dépassent, c'est-à-dire accélèrent par rapport aux motrices à récupération. Dans les heures de grande charge, on vérifie le contraire ; ce sont les motrices série qui doivent utiliser toutes leurs ressources pour se mettre à parité avec les motrices à récupération.

M. ANDRIES. — Je demande à exposer en quelques mots le *point de vue des exploitants*, en particulier sur le système de M. SOMAJNI, pour la *récupération en traction à courant continu par tramways et omnibus*.

L'intérêt de la récupération en traction à courant continu n'étant mis en doute par personne, il peut paraître surprenant que l'emploi d'équipements permettant de réaliser cette récupération ne soit pas plus développé.

En fait, on ne rencontre guère, à l'heure actuelle, les équipements à récupération que sur les véhicules de transports les plus modestes par leur tonnage, tramways et omnibus électriques, ce qui s'explique d'ailleurs facilement par les consommations spécifiques relativement élevées auxquelles conduisent des conditions d'exploitation particulièrement pénibles, surtout dans les grands réseaux urbains et également par le prix élevé de l'énergie électrique.

C'est ainsi que nous avons été amenés, à la S. T. C. R. P. à étudier l'adaptation à notre matériel des différents systèmes de récupération.

Les omnibus électriques à récupération.

En 1924, la Société des Usines Renault, en collaboration avec la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques, a établi un omnibus à traction électrique par accumulateurs doté d'un équipement à moteur compound, assurant la récupération lors des arrêts et dans les déclivités.

Des essais très complets (dont le détail a été publié dans le numéro de décembre 1927, de la *Revue l'Industrie des Voies Ferrées et des*

Transports automobiles), ont pu être effectués avec ce véhicule par la S. T. C. R. P. dans les conditions les plus diverses d'exploitation.

En ce qui concerne plus spécialement la récupération, ces essais ont permis de déterminer que, dans les déclivités et en vitesse uniforme, le moteur renvoyait de l'énergie à la batterie pour des profils d'inclinaison égale ou supérieure à 18 mm/m. Le pourcentage de l'énergie renvoyée à l'énergie consommée sur le même profil à la montée, atteignait 38 pour cent pour une inclinaison de 65 mm/m.

Il semble inutile de souligner l'intérêt que présente, dans le cas de véhicules à accumulateurs, une telle récupération.

Ainsi donc, dans cette application particulière, qui n'a peut-être pas dit son dernier mot, le moteur à caractéristique shunt, légèrement anticomposé lors de la récupération, s'est avéré extrêmement intéressant.

Par ailleurs, l'équipement est très simple et la récupération ne nécessitant aucune modification des couplages électriques, présente ainsi une certaine automaticité et ne complique pas la conduite du véhicule.

Enfin, dans ce cas, l'épineuse question des variations brusques de la tension aux bornes des moteurs ne se pose pas, cette dernière étant pratiquement fixe.

Plus récemment, le réseau des tramways de Marseille a mis en service, en prolongement d'une ligne de tramways, trois omnibus à trolley construits par la Société des Véhicules et Tracteurs Electriques et pourvus également d'un équipement à moteur compound, assurant la récupération lors des arrêts et dans les déclivités, mais par renvoi d'énergie sur la ligne d'alimentation d'un réseau mixte, omnibus et tramways.

La question des variations de la tension de cette ligne s'est donc posée cette fois.

D'après les renseignements que nous possédons, le réseau de Marseille n'aurait constaté aucun incident de fonctionnement depuis la mise en service, soit depuis juillet 1927, et les résultats obtenus sont tels que deux véhicules supplémentaires vont être prochainement mis en service. Outre la récupération, le moteur compound des omnibus marseillais présente, comme celui de l'omnibus à accumulateurs Renault-Alsacienne, un intérêt considérable en traction urbaine, en assurant au véhicule, le cas échéant, dans des conditions de rendement électrique très satisfaisantes, une faible vitesse de 7 à 8 km/h.

Seize véhicules analogues aux véhicules de Marseille seront prochainement mis en service sur des réseaux accidentés de la Savoie.

Les tramways électriques à récupération.

La récupération sur les omnibus n'a pu être réalisée que grâce à l'emploi d'équipements simples, robustes, peu encombrants et de conduite facile.

Ces conditions sont également indispensables sur les tramways.

Ainsi que M. BACQUEYRISSE eu l'occasion de l'indiquer dans un rapport présenté ici même en avril 1927, des équipements tels que S. T. A. R., le Ward Leonard, etc... ne sont pas du domaine des tramways, les éléments convertisseurs devant présenter une puissance du même ordre de grandeur que les moteurs de traction et, par suite, un poids et un encombrement prohibitifs.

M. BACQUEYRISSE a également cité une tentative d'amélioration du *moteur série réalisée* par M. SCHWEND, Ingénieur aux tramways de Nuremberg et dans laquelle un flux additionnel au début du démarrage par rapport au flux série normal, est successivement supprimé, puis inversé.

Par l'emploi de ce flux shunt lors de l'arrêt du véhicule ou dans les déclivités, il devait être possible de réaliser une certaine récupération.

En outre, les différentes combinaisons d'excitation devaient permettre de réduire au minimum le nombre des crans de marche sur résistance.

Nous avons procédé, à titre d'essai, à la S. T. C. R. P., à la réalisation d'un tel moteur, mais nous avons dû constater que, si les caractéristiques du moteur Schwend étaient parfaitement réalisables, le fonctionnement presque constant du moteur en régime faiblement saturé, conduisait à une réduction trop importante du couple moteur et par suite de l'accélération au démarrage.

M. SCHWEND, en étudiant son moteur, ne s'était pas uniquement préoccupé de la récupération mais, simultanément, de la réduction de la consommation, par suppression d'un certain nombre de crans de marche sur résistance.

Son idée était fort juste, car avant de récupérer de l'énergie consommée, il semble logique de chercher à réduire au minimum la consommation, d'où un premier problème.

D'autre part, comme l'a fort bien fait remarquer M. GUÉRY, la récupération lors des arrêts et la récupération dans les déclivités constituent deux problèmes distincts et qui doivent logiquement conduire à des solutions distinctes.

En théorie, ces problèmes ont été résolus simultanément de manière heureuse dans l'équipement que nous a décrit l'an passé, M. DELLA

RICCIA et dans l'équipement de M. le Professeur SOMAJNI, dont la S. T. C. R. P. a eu récemment l'occasion d'étudier de très près les caractéristiques.

Dans ce dernier équipement — ainsi d'ailleurs que dans l'équipement DELLA RICCIA avec lequel il présente un certain nombre de points communs — un ensemble de trois induits calés sur le même arbre et tournant dans le même flux inducteur, forment diviseurs de la tension en ligne.

Cette disposition permet (toujours en théorie), de supprimer les résistances de démarrage, en appliquant directement aux bornes des moteurs de traction des tensions progressivement croissantes, prises aux différentes bornes du diviseur.

D'autre part, lors de l'arrêt, la variation inverse des tensions permet d'envisager le freinage à intensité sensiblement constante, et par suite à décélération constante jusqu'à l'arrêt complet.

Enfin, les moteurs étant à caractéristique shunt et légèrement compoundés, le réglage de la vitesse et, par suite, de la récupération dans les déclivités, s'effectue de manière simple par la variation de l'excitation shunt.

Une dizaine de ces équipements sont actuellement en service sur les réseaux de Milan et de Rome et certains depuis plusieurs années.

Dans la pratique, les résultats obtenus doivent faire l'objet d'un examen très attentif.

Les variations brusques de la tension en ligne n'auraient (de même que sur les omnibus à trolley de Marseille), donné lieu à aucun incident de fonctionnement de la part des moteurs et du diviseur de tension.

Par contre, l'application aux bornes des moteurs de traction de tensions croissantes ou décroissantes ne pouvant s'effectuer sans discontinuité, c'est-à-dire nécessitant, à chaque transition, l'ouverture puis la fermeture des circuits de traction, il en résulte des à-coups incompatibles avec le confort des voyageurs et la bonne tenue du matériel.

Ces à-coups ont conduit à disposer dans les circuits, à chaque transition, des résistances dites « de commutation » qui sont en réalité de véritables résistances de démarrage et par suite vont à l'encontre du but cherché.

D'ailleurs, ces résistances, bien qu'atténuant la brutalité des transitions, ne suppriment pas les coupures périodiques des circuits de traction et les variations totales de l'effort de traction qui en résultent.

D'essais effectués sur le réseau de Rome, il résulte, en effet, que, sauf dans le cas de lignes en palier rigoureux, la consommation d'éner-

gie lors des démarrages n'est pas inférieure à celle d'une motrice ordinaire et lui est même fréquemment supérieure, en raison des pertes dans les résistances de commutation et dans le diviseur de tension.

Le premier des trois problèmes posés (celui qui a trait à la suppression des pertes rhéostatiques), n'est donc pas résolu dans la pratique.

De plus, lors des arrêts, l'influence des résistances dites « de commutation » doit se faire sentir de manière analogue et, par suite, le deuxième problème (celui qui a trait à la récupération totale lors des arrêts) n'est pas complètement résolu.

En définitive, l'énergie renvoyée à la ligne varie sur le réseau de Rome de 20 pour cent pour les lignes en palier, à 28 pour cent pour les lignes accidentées.

Ces pourcentages (intéressants en eux-mêmes) n'ont dans la pratique qu'une valeur très relative.

En effet, si nous considérons les valeurs moyennes nettes des consommations kilométriques des motrices à récupération et des motrices ordinaires des réseaux de Rome et de Milan, soit :

	Motrice ordinaire kWh	Motrice à récupération kWh
	—	—
Réseau de Rome.....	1,513	1,335
Réseau de Milan.....	1,682	1,248

nous trouvons bien des pourcentages respectifs d'économie de 23 pour cent et 25,6 pour cent intéressants à première vue.

Mais, si nous considérons les consommations à la tonne-kilomètre qui constituent, malgré tout, le meilleur critérium de la valeur d'un matériel, nous arrivons aux valeurs suivantes, en watt-heures :

	Motrice ordinaire Wh	Motrice à récupération Wh
	—	—
Réseau de Rome.....	79,8	61,5
Réseau de Milan.....	70,2	52

Les valeurs relatives aux motrices ordinaires et même celles relatives aux motrices à récupération paraissent beaucoup trop élevées, et susceptibles d'être réduites par tous autres moyens moins compliqués et par suite moins onéreux que ceux envisagés.

Nous avons eu, à la S. T. C. R. P., à étudier certains types de matériel présentant des consommations spécifiques élevées.

A la suite d'essais minutieux portant, d'une part, sur la valeur du rapport de démultiplication des engrenages et, d'autre part sur la gamme des résistances de démarrage, nous avons pu obtenir des économies d'énergie atteignant 16 pour cent, tout en réalisant simultanément des démarrages très progressifs ne fatiguant pas le matériel, améliorant le confort des voyageurs et augmentant même la vitesse commerciale.

En particulier, sur un type de motrice cependant moderne, par les modifications indiquées ci-dessus et surtout par l'adoption, pour la transition série-parallèle, de deux crans de shuntage des inducteurs, nous avons pu ramener la consommation à la tonne kilométrique de 55,5 Wh à 49 Wh, soit une économie de 13 pour cent, la dépense totale entraînée par cette modification étant, par ailleurs, insignifiante.

Sur notre dernier type de matériel, la gamme de démarrage comportant 5 crans de marche sans résistance de démarrage, dont 3 crans de shuntage, sur 9 crans de marche, a fait l'objet d'une minutieuse mise au point, ainsi d'ailleurs que la valeur du rapport de démultiplication : la consommation à la tonne-kilomètre, sur un réseau à arrêts au moins aussi fréquents que ceux de Milan et de Rome, est descendue à 43,2 Wh.

Pour nous, le problème de la récupération se pose donc de la façon suivante.

Avec une consommation de 43,2 Wh à la tonne-kilométrique, quelle est l'économie d'énergie que l'on peut escompter de l'emploi d'équipements électriques à récupération analogues aux précédents, c'est-à-dire des équipements qui, en pratique, sont les seuls utilisables sur tramways.

Même en admettant les pourcentages ci-dessus, l'économie absolue atteindrait à peine 10 Wh à la tonne-kilométrique.

Cette économie serait-elle suffisante pour amortir les dépenses d'établissement et d'entretien du matériel spécial assurant la récupération ? Cela est peu probable et nous sommes ainsi amené à conclure que, pour présenter un intérêt économique, l'équipement à récupération doit, de même que du point de vue technique, être extrêmement simple et peu coûteux, d'autant qu'avec les transmissions genre automobile, dont l'emploi sur les tramways tend à se développer de plus en plus, les avantages revendiqués par les promoteurs d'équipements à récupération, en ce qui concerne la réduction des dépenses d'or-

ganes de freinage et de compression d'air, sont beaucoup moins marqués.

Et alors nous nous posons la question suivante :

Puisque les équipements réalisés à ce jour sur les tramways ne tiennent pas leurs promesses, en ce qui concerne la suppression des pertes rhéostatiques et la récupération totale lors des arrêts, le moteur compound, dont le prix et le poids ne diffèrent pas très sensiblement de ceux du moteur série et qui, employé seul, donne de bons résultats sur les omnibus à trolley et à accumulateurs, ne constituerait-il pas la solution la plus avantageuse ?

Nos constructeurs de matériel électrique nous ont parfois montré qu'ils étaient capables de réaliser des moteurs à caractéristiques shunt, dont les vitesses de rotation pouvaient varier dans le rapport de 1 à 4, uniquement par le réglage du flux inducteur et ceci dans des conditions très satisfaisantes de commutation.

Avec une gamme de vitesse aussi large, s'étendant par exemple (pour rester dans les limites permises par les Règlements Administratifs) de 7,5 à 30 km/h, l'emploi de résistances de démarrage serait considérablement réduit et, par suite les pertes rhéostatiques.

Il est facile, d'autre part, de voir qu'au-dessous de 10 km/h, l'énergie cinétique du véhicule ne présente plus qu'une valeur relativement faible : 10 pour cent à peine de la valeur initiale et ne justifie pas, pour sa récupération, des organes tels que : diviseur de tension, etc... dont le poids s'élèverait à environ 1 T pour une motrice pesant à vide 12,800 T.

Les moteurs compound étant, de manière permanente, alimentés sous la pleine tension de la ligne, la transition série-parallèle des équipements ordinaires serait supprimée et l'équipement de contrôle réduit à sa plus simple expression.

Ce dernier (à l'instar des omnibus) comporterait schématiquement un ensemble de contacteurs commandés, par exemple, par une pédale correspondant à la pédale d'embrayage des automobiles et éliminant rapidement un ou plusieurs éléments de résistances.

Les moteurs étant, dès ce moment, sous la pleine tension et la vitesse voisine de 7,5 km/h, cette dernière serait accrue de 7,5 à 30 km/h par réglage de l'excitation shunt, au moyen d'une deuxième pédale analogue à la pédale d'accélération des véhicules automobiles.

Les inducteurs, pour la commodité de la réalisation, seraient prévus pour la tension $\frac{U}{2}$ ou $\frac{U}{4}$ selon que le nombre des moteurs par véhicule serait de 2 ou 4 et disposés en série.

L'équi-répartition de la charge suivant les moteurs, serait ainsi

mieux réalisée, et l'un des principaux griefs faits au moteur à caractéristique shunt tomberait, ou tout au moins perdrait de son importance.

Des essais actuellement en cours à la S. T. C. R. P. nous fixeront prochainement sur l'intérêt du moteur compound en traction par tramways.

M. SOMAJNI. — Les démarrages très rapides, dépassant 60 cm : s ne se produisent presque jamais sur les tramways. Nous sommes convaincus que, pour les grandes lignes aussi bien que pour le métro, la simple mise en court-circuit des résistances de commutation produit un fonctionnement assez bon lorsque le matériel est neuf. Pendant la première année de fonctionnement, à Milan, nous ne nous sommes jamais aperçus d'à-coups désagréables, mais, après la première année, nous avons eu des ennuis. Naturellement, maintenant, on court-circuite en deux fois la résistance qui est appliquée périodiquement à chaque passage, de façon que, pour un courant moyen déterminé, les pointes de courant sont très réduites. Par exemple, il y a à l'heure actuelle, deux tramways à Rome qui sont faits ainsi et qui, même dans les pentes, ne donnent pas d'à-coups désagréables.

M. ANDRIES. — Voulez-vous me permettre de rappeler que, d'après des renseignements obtenus à Rome, le temps de marche sur résistances est à peu près égal à celui d'un tramway ordinaire ?

M. SOMAJNI. — Cela arrive seulement sur des rampes supérieures à 50 pour cent ; au-dessous de cette limite, le temps pendant lequel les résistances sont en circuit diminue naturellement avec la pente ; en parler, l'action des court-circuiteurs est presque immédiate et la durée est presque toujours inférieure à 1 s.

Nous avons fait des expériences à Milan l'année dernière avec un seul court-circuiteur de résistances, avec des voitures remorquées et sur une ligne à un grand nombre de courbes ; le démarrage exigeait qu'on passe par un certain nombre de paliers avec résistances en circuit ; les expériences ont duré un mois ; elles ont consisté à laisser en service normal sur la même ligne pendant 28 jours, deux motrices identiques, l'une équipée normalement, l'autre en récupération. La consommation d'énergie était pour la motrice en récupération, de 26,4 pour cent inférieure à celle de la motrice série.

M. DEMANY. — (Note communiquée). Depuis nos dernières dis-

cussions sur la récupération, nous n'avons exécuté aucune nouvelle réalisation, mais nous avons trouvé de nouvelles dispositions susceptibles de réduire l'importance du groupe de récupération.

Ces dispositions utilisent des couplages plus complexes que celui du Star et qui auraient peut-être autrefois fait reculer devant leur réalisation.

Aujourd'hui, en traction, le contacteur individuel est remplacé souvent par l'élément commandé par arbre à came, ce qui réduit l'encombrement et le poids et permet de résoudre des problèmes de couplage tout à fait complexes.

M. HEIDMANN, Ingénieur Chef de service des Ateliers de Jeumont, vient à ce sujet de mettre au point un équipement de traction tout à fait remarquable.

Dès que la pratique aura sanctionné toutes les expériences faites en Laboratoire et ce sera sous quelques mois, nous ne manquerons pas de faire une communication sur cet appareil.

Dès maintenant, sans entrer dans les détails de cette invention, je me bornerai à constater qu'elle permettra de réaliser sans difficulté les successions de couplages les plus embrouillées.

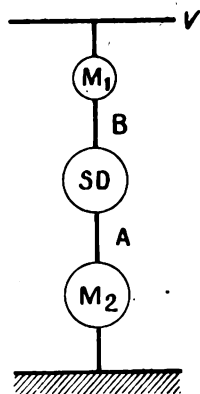


Fig. 8.

Cette possibilité de simplification de l'équipement, permet de réaliser d'importantes améliorations du système STAR.

On sait que la dynamo STAR était intercalée entre les deux moteurs sous la tension V.

Pendant le démarrage, la tension par rapport à la terre variait, en A de 0 à V et en B de V à 0.

Le survolteur développait une puissance maximum égale à la puissance maxima d'un moteur.

On considérât le démarrage terminé quand les moteurs étaient à la tension V .

Si l'on divise le survolteur en deux parties, c'est-à-dire si on munit son induit de deux collecteurs reliés à deux enroulements indépendants, on peut poursuivre le démarrage.

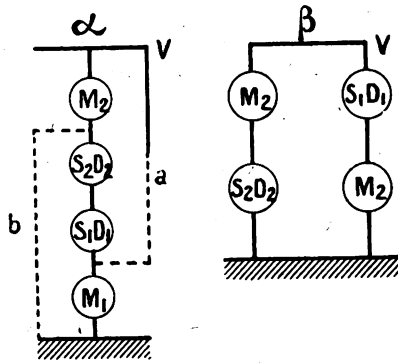


Fig. 9.

Le premier couplage α est tout en série ; à la fin du démarrage sur ce couplage, on peut établir les connexions a et b .

Si nous insérons ensuite chaque moitié du survolteur dans les connexions a et b , nous arrivons au couplage β , qui permet de poursuivre le démarrage jusqu'à ce que A soit à $1,1/2 V$.

Nous admettons que les moteurs seront établis pour la tension $1,1/2 V$.

La division du survolteur permet donc, à puissance égale des moteurs, de réduire son importance de $1/3$.

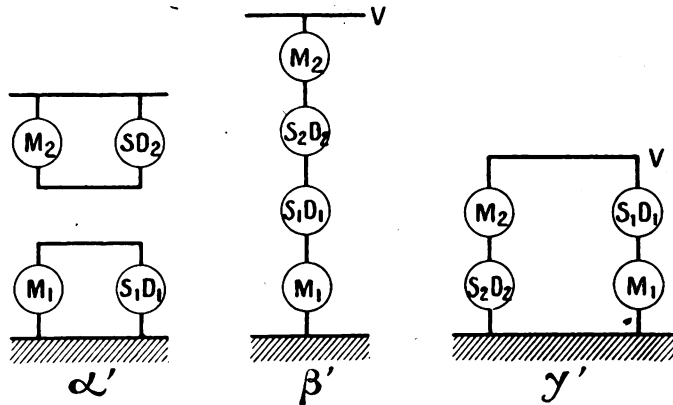


Fig. 10.

Mais on peut réduire encore notablement les survolteurs ; en effet, examinons une série de couplages plus compliqués :

en α' on alimente les moteurs jusqu'à $1/4$ de Volt par les demi-survolteurs ;

en β' on alimente les moteurs de $1/4$ de Volt à $3/4$ de Volt par le couplage en série des survolteurs ;

en γ' on amène les moteurs de $3/4$ de Volt à $5/4$ de Volt par le couplage parallèle.

L'importance des survolteurs devient de $2/5$ de celle d'un moteur de traction.

Des résistances de passage permettent de réaliser le passage d'un couplage à l'autre sans à-coup.

L'avantage qu'il y a à réduire l'importance du groupe survolteur est double :

1° diminution de l'importance du survolteur-dévolteur, partie délicate de l'installation, diminution corrélative du poids de l'équipement ;

2° économie de consommation.

Prenons, comme exemple, un cas analogue à celui du Métropolitain, où la consommation normale se répartit approximativement comme suit, en centièmes :

Roulement	25
Force vive dissipée dans les freins	50
Pertes électriques dans les moteurs	10
Pertes dans les résistances de démarrage	15
	100

Avec le système STAR on obtenait environ :

Roulement	25
Pertes électriques dans les moteurs	15
Pertes dans le groupe de récupération (dont plus de la moitié en marche à vide)	40
	80

Si l'on réduit le groupe de récupération dans le rapport de $2/5$, ses pertes varient presque proportionnellement à sa puissance, donc avec le couplage $\alpha'\beta'\gamma'$ on obtiendra :

Roulement	25
Pertes électriques dans les moteurs	15
Pertes dans le groupe de récupération	18
Pertes dans les résistances de passage	2
	60

En résumé, des perfectionnements peuvent être apportés au système STAR, de façon à réduire l'importance du groupe survolteur-dévolteur de plus de moitié et à doubler l'économie de consommation.

M. LE PRÉSIDENT GRATZMULLER. — MM. DELLA RICCIA, puis SOMAJNI, ont bien voulu venir nous exposer leurs dispositifs de régulation basés sur l'emploi d'un diviseur de tension et je crois que la caractéristique de leurs systèmes est la légèreté du poids de l'équipement. Je dois signaler qu'il y a sept ou huit ans environ, M. A. FERRAND avait envisagé le diviseur de tension pour la régulation de la vitesse des locomotives. Une correspondance fut échangée à ce point de vue, en particulier avec la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques.

M. DEMANY vient de nous présenter une note sur les améliorations du système STAR comportant un survolteur-dévolteur expérimenté il y a une vingtaine d'années par les Ateliers de Jeumont et qui a fait l'objet d'une communication de M. LEGOUZ à la Société Française des Electriciens, en décembre 1913.

Je note que d'après la conclusion de M. DEMANY, ce système n'a pas dit son dernier mot. Néanmoins, une critique subsiste, principalement pour utiliser des moteurs existants, les moteurs doivent pouvoir supporter le double de la tension du réseau d'alimentation, en outre, le système ne prévoit pas l'excitation en série des moteurs pendant la récupération et il n'est pas nécessaire de vous parler des avantages des moteurs série en traction.

Jusqu'à présent, on a considéré celui-ci comme inutilisable en génératrice série, sauf dans le dispositif « Boucherot », car la tension du réseau peut, à un instant quelconque du fonctionnement, devenir plus grande que la force électromotrice du moteur, d'où inversion du courant dans le moteur et ce qui s'en suit.

Or, M. PESTARINI a expérimenté un système permettant le fonctionnement en génératrice série des moteurs série. J'ai fait ce que j'ai pu pour que M. PESTARINI veuille bien nous décrire, dans ses grandes lignes, son système.

Ayant promis à notre Président PÉRIDIER, au mois de juin, d'exprimer quelques réflexions à ce sujet à la semaine d'octobre, je viens tenir ma promesse, mais encore une fois j'aurais préféré que M. PESTARINI parlât en premier, place qui lui était due à cause de l'énergie qu'il a dépensée dans la question.

Je ne connais que les quelques mots que M. GUÉRY a dits de ce système à la semaine d'octobre 1927, dans les termes suivants :

« Il consiste, en principe dans un induit à courant continu tournant

dans une couronne de fer servant simplement à fermer les lignes de force du champ induit. Sur le collecteur de cet induit sont montées des lignes de balais à 90° . On démontre aisément que cette machine, étant entraînée à vitesse constante par un moteur qui a simplement à fournir les pertes, lorsqu'une des lignes de balais est reliée à une tension constante, on recueille un courant d'intensité constante dans un circuit relié à l'autre ligne de balais. Ce système, comme celui de M. BOUCHEROT, permet donc l'emploi du moteur série pour la récupération ».

En résumé, dans un appareil supposé bipolaire, on alimente, dans un rotor à collecteur, une paire de lignes de balais sous tension constante et on recueille dans le circuit fermé par la paire de lignes de balais disposée dans l'axe perpendiculaire, un courant approximativement constant, bien entendu, à condition que la tension extérieure qui intervient entre balais secondaires ne dépasse pas une certaine grandeur.

I. — *Point de vue historique.*

En 1902 est revenue en question, la suppression de la self-inductance d'un induit à collecteur alimenté par des courants polyphasés à n phases, au moyen de balais distants de $\frac{2\pi}{n}$, ω étant la pulsation des courants d'alimentation et ω la vitesse angulaire du rotor disposé au centre d'un milieu à réluctance uniformément répartie. Supposons (fig. 11), un rotor bipolaire sur lequel appuient deux balais diamétraux a' et a , puis deux autres balais b' et b dans l'axe perpendiculaire, une couronne c sert à renforcer le champ de l'induit. La question était celle-ci : la force électromotrice de self-inductance disparaît-elle au synchronisme ? C'était l'idée exprimée, contrôlée et publiée par GÖRGES, en 1891, puis reprise par HEYLAND et MARIUS LATOUR, vers 1902.

Si L est la self-inductance du rotor alimenté par deux balais a' et a diamétraux, $I \sin \omega t$ le courant traversant les balais a' et a , $I \cos \omega t$ le courant traversant les balais b' et b (fig. 11) dans l'axe perpendiculaire, le raisonnement est, dans l'une de ses variantes, celui-ci :

Entre balais a' et a apparaît une force électromotrice de self-inductance, exprimée dans le sens $a'a$ par :

$$(1) \quad e_1 = - \frac{d}{dt} LI \sin \omega t = - \omega LI \cos \omega t,$$

puis une force électromotrice d'induction mutuelle ou force électro-

motrice dynamique :

$$(2) \quad e_2 = \omega LI \cos \omega t.$$

Bien entendu, dans l'hypothèse d'une répartition sinusoïdale du champ dans l'entrefer.

De sorte que la différence $e_1 - e_2 = 0$.

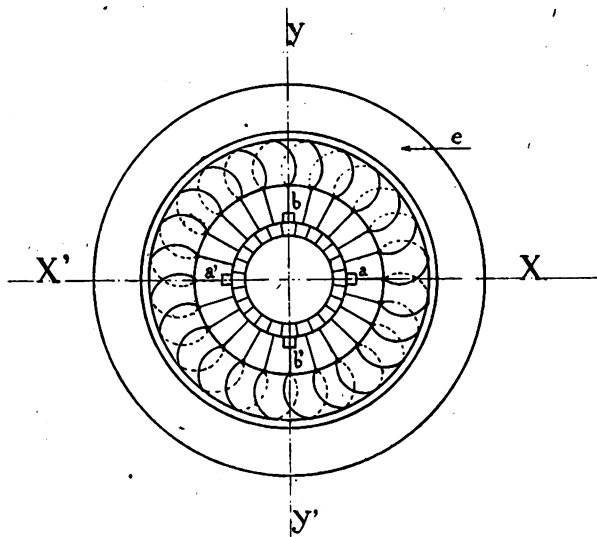


Fig. 11.

C'est ce que l'on exprime en disant que la self-inductance disparaît du synchronisme.

Certains ingénieurs des plus éminents contestaient le résultat, car ils ignoraient la publication de Görges.

Alors chef de plate-forme à la Compagnie Thomson-Houston et à mes débuts, il m'a semblé nécessaire de faire l'expérience. A mon insu, BOUCHEROT l'avait faite la veille. Comme moyen de fortune, en l'absence de couronne e (fig. 11). M. BUNET eut l'idée de faire sur le rotor un cerclage épais en fil de fer pour augmenter la perméabilité. Nous avons constaté que la self-induction disparaissait à peu près.

M. BUNET, les regrettés Maurice LEBLANC et PERRET, le grand technicien des ateliers de Jeumont, assistaient à l'essai.

Le raisonnement ci-dessus étant contesté, j'eus l'idée suivante. Tout reposant sur la force électromotrice e_2 dynamique, si le raisonnement conduisant à la relation (2) est exact, en lançant un courant constant entre a' et a , on doit recueillir entre b' et b une tension

$$(3) \quad e = \omega LI$$

et réciproquement, si cela se produit, il est évident que la relation (2) est exacte.

L'expérience confirma l'exactitude de la relation (3), e était mesurée, je crois, par un voltmètre à aimant. Un oscillographe aurait été préférable, car je ne crois pas que e soit constant, même si les balais sont plus larges qu'une lame.

Tout naturellement, l'idée vint de fermer le circuit des balais a' et a sur une résistance. Non seulement ce courant I était constant pour une résistance donnée, mais il était sensiblement constant pour une large variation de la résistance extérieure du circuit secondaire, si la vitesse de rotation ω et la tension entre a' et a était constante.

C'est ce qu'exprime la relation (3) puisque, en négligeant les chutes ohmiques, la tension e_1 entre b' et b est :

$$e_1 = \omega LI.$$

Sans vouloir insister, pour faire court, nous croyons cependant devoir signaler que self-inductances primaire et secondaire ont un rôle fondamental pour parer aux discontinuités de contact des balais.

Mais d'où venait la puissance, puisque le moteur entraînant le rotor ne prenait aucune charge sensible ? Puisque tout tournait y compris la couronne e réalisée par le cerclage, il n'y avait aucune malice à comprendre que l'appareil était un transformateur de tension constante en intensité constante, pour une vitesse constante et une tension constante d'alimentation des balais primaires.

Notre induit étant à grand nombre de lames, nous ne constatâmes pas de très fortes étincelles, quoique les balais d'un même diamètre fussent en plein dans la région du champ maximum, produit par le courant qui les traverse.

L'expérience fut répétée en utilisant la machine dont la photographie se trouve dans le *Bulletin de la Société Française des Electriciens* de juin 1903, p. 308.

J'ai bien pensé qu'il y avait quelque chose à tirer de ce principe. Mais : 1° Dans une machine importante, il y aurait des difficultés de commutation et, à cette époque, les pôles auxiliaires imaginés par M. Picou n'étaient pas encore entrés dans la pratique ; 2° A cette époque, j'avais beaucoup à faire avec le collecteur en triphasé, puis bientôt en monophasé. Alors, volontairement, je n'y ai plus pensé.

C'est le très grand mérite de M. PESTARINI, d'avoir repris le principe en ignorant, plus que probablement, les essais à la plate-forme Thomson auxquels je fais allusion.

C'est avec une très grande pénétration et une faculté d'invention remarquable, jointe à une très grande audace, que M. PESTARINI a songé à utiliser l'appareil pour stabiliser et régler le courant secondaire dans un circuit comportant un moteur ou une génératrice série, ce à quoi

je n'avais pas pensé. J'espère vivement que M. PESTARINI, viendra mettre notre Société au courant de ses travaux.

II. — *Quelques points de vue sur le fonctionnement du transformateur tournant.*

Lançons (fig. 11), un courant I_1 entre a' et a puis, par un deuxième circuit, un courant I_2 entre b' et b . Supposant l'induit immobile pour simplifier, la tension U_1 de chute ohmique entre a' et a est indépendante du courant I_2 . De même, la tension U_2 entre b' et b est indépendante de I_1 . De sorte que, dans chaque circuit primaire ou secondaire, l'effet Joule est indépendant du courant circulant dans le deuxième circuit.

Supposant le courant primaire I égal au courant secondaire I_2 et R la résistance d'induit entre 2 balais, la perte Joule est $2RI^2$. Elle est donc la même que si le courant traversant a' et a était $I\sqrt{2}$. Le cuivre doit donc être dimensionné pour le courant $I\sqrt{2}$.

De plus, les courants primaire et secondaire s'annulant dans deux quadrants, le flux résultant sera à 45° des lignes de balais. Il y'aura donc d'abord des champs parasites inactifs sur une grande partie de l'entrefer, d'où fer inactif dans ces régions. Les arcs de conducteurs actifs n'occupant qu'un quadrant, la tension moyenne par lame dans ces régions est doublée.

Mais, dans la région des balais, on est conduit, par des pôles auxiliaires, à supprimer les champs dus à l'un des circuits primaire ou secondaire et c'est la partie la plus active des forces électromotrices produites dans l'enroulement correspondant, secondaire ou primaire.

On conçoit que, pour faciliter le réglage de la commutation, on soit conduit à faire une machine comportant peu de flux utile et beaucoup de lames, soit beaucoup de cuivre.

Les connexions latérales d'induit doivent donc être très grandes.

Donc, en réalité, le volume et le poids du rotor seront assez grands.

Mais il est vrai que les enroulements inducteurs sur la partie fixe sont supprimés.

III. — *Disposition nouvelle de transformateur tournant.*

La présente disposition, que nous croyons nouvelle, consiste à utiliser, pour le bobinage du rotor, approximativement le pas fractionnaire $1/2$.

De sorte que, pour un rotor supposé bipolaire, la commutation des courants primaires ou secondaires se fait, comme avec le pas unitaire, dans deux plans diamétraux perpendiculaires.

Il y aura donc encore seulement quatre régions où des pôles auxiliaires doivent être disposés.

On obtient ainsi l'avantage de la réduction des connexions latérales entre conducteurs d'encoches.

Sous une autre forme, on peut réduire de moitié le nombre de pôles d'un enroulement à pas unitaire, sans qu'il en résulte d'accroissement des connexions latérales par rapport à l'enroulement unitaire. On obtient conjointement, avec même vitesse périphérique et même nombre de lampes au collecteur, une tension moyenne entre lames réduite de moitié.

Dans les figures explicatives qui suivent, on a adopté les conventions suivantes : O est l'axe de rotation. Les conducteurs d'enroulement tambour sont disposés sur deux cercles, l'un intérieur $x'x$ et l'autre extérieur de diamètre $X'X$. L'angle $X'OX$ étant pris égal à $+\frac{\pi}{2}$, cela suppose le plan de figure orienté.

X, R, Y, S, X' , R' , Y' , S' , sont des points du cercle $X'X$ tels que les arcs successifs XR, RY, YS, SX, $X'R'$, $R'Y'$, $Y'S'$ et $S'X$ sont égaux à $+\frac{\pi}{2}$.

x , r , y , s , x' , r' , y' , s' sont des points du cercle $x'x$ sur les rayons OX, OR, OY, OS, OX' , OR' , OY' , OS' .

Les conducteurs sont représentés par des petits cercles marqués

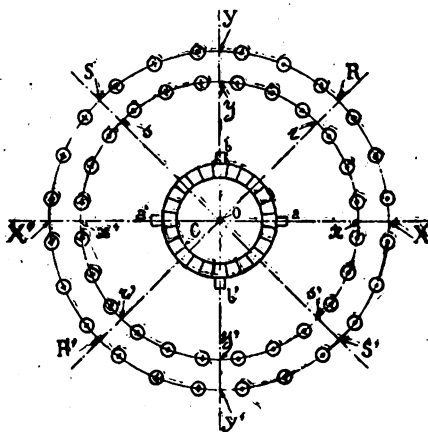


Fig. 12.

d'un point ou d'une croix suivant qu'ils sont parcourus par des courants d'avant en arrière du plan de la figure ou dans le sens inverse.

Dans la figure 12, on a représenté les lames du collecteur ; dans les suivantes le collecteur est figuré par un simple cercle. a' et a sont deux balais dans les demi-plans O, X' et OX ; b' et b , deux balais dans les demi-plans OY' et OY . La figure 12 suppose le nombre d'encoches égal à 24, une spire par section d'induit et le pas unitaire.

Cela signifie que l'un des conducteurs d'encoche étant dans l'encoche comptée 1, l'autre, formant spire avec lui, sera dans l'encoche comptée $1 + 12 = 13$. On sait que si $2I$ est le courant traversant les balais a' et a , la figure 12 représente le sens des courants I à travers chacune des spires du rotor.

Pour simplifier, on peut représenter par un arc de cercle les con-

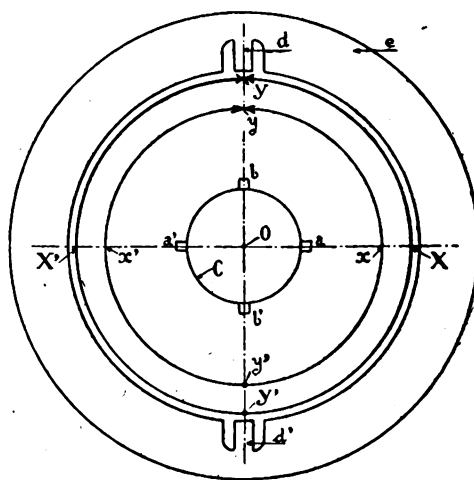


Fig. 13.

ducteurs d'une même couche traversée par un même courant et, de plus, on indique sur cet arc une origine par un point et une extrémité par une flèche, de telle sorte que, si l'arc est positif, les conducteurs qu'il représente sont parcourus d'avant en arrière du tableau et si l'arc est négatif, les conducteurs sont parcourus en sens inverse.

A la figure 12 peut donc être substituée la figure 13.

Sur la figure 13, on a représenté la couronne extérieure de fermeture du flux et, en d et d' , les pôles auxiliaires sur lesquels il faut répartir, en première approximation, un nombre d'ampère-tours égal à la totalité des ampères conducteurs contenus dans les arcs $Y'XY$ et $y'x'y$, de façon à annuler la force électromotrice dynamique produite dans le conducteur des spires en commutation par la rotation du rotor dans son propre champ.

En réalité, un réglage des ampère-tours un peu plus grand sera nécessaire.

On suppose, maintenant, que le pas fractionnaire $1/2$ est adopté, c'est-à-dire que l'un des côtés d'une section étant dans l'encoche 1, l'autre est disposé dans l'encoche 7. Alors on aboutit à la figure 14 pour la représentation des ampères conducteurs périphériques, dans le cas où seul le courant $2I$ passe par les balais a' et a .

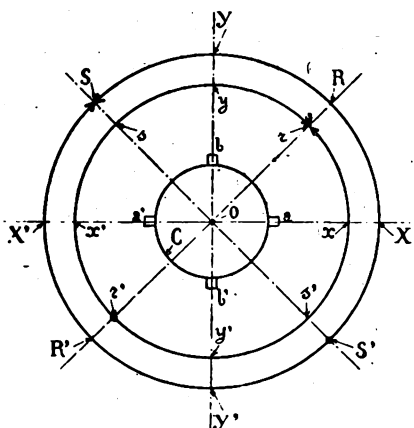


Fig. 14.

On voit que tout se passe comme si l'on avait fait glisser les conducteurs de la couche supérieure de $+\frac{\pi}{4}$ et ceux de la couche inférieure de $-\frac{\pi}{4}$.

On suppose, bien entendu, que les connexions latérales entre conducteurs d'encoche se raccourcissent en conséquence.

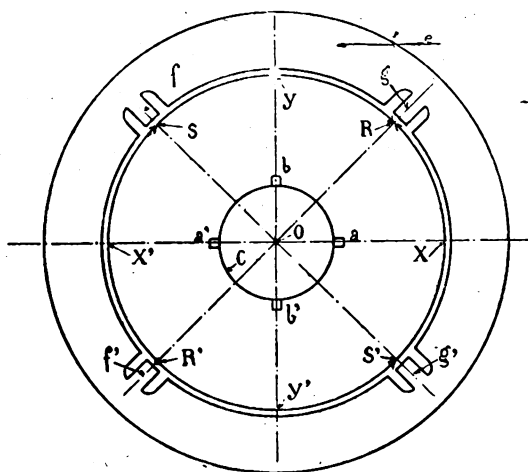


Fig. 15.

On voit immédiatement que les conducteurs compris dans les angles ROS et R'O'S', ont des actions magnétisantes qui s'annulent, de

sorte que les seuls conducteurs actifs sont à l'intérieur des angles $S'OR$ et SOR' , dont les actions magnétisantes concordent.

En confondant en un seul les arcs extérieurs et intérieurs dont les effets magnétisants s'ajoutent, on arrive à la figure 15 où les ampère-tours sont représentés par les arcs $S'XR$ et $R'XS'$.

On voit que, pour supprimer tout champ local coupé par les conducteurs des spires en commutation par les balais a' et a , il faut un double jeu de pôles auxiliaires, d'abord celui des pôles f et f' vis-à-vis des conducteurs voisins de S et R' , où il faut disposer des ampère-tours dont le total est au moins égal aux ampère-conducteurs de l'arc $R'S$ et détruisant les flux locaux dus aux ampère-conducteurs de l'arc $R'XS$.

Ensuite, vis-à-vis de R et S' , il faut des pôles auxiliaires g et g' , portant des ampère-tours détruisant les flux locaux dus aux ampère-conducteurs de l'arc $S'R$, égaux d'ailleurs à ceux de l'arc $R'S$.

Les ampère-tours des pôles auxiliaires seront obtenus en faisant parcourir leurs enroulements disposés en série, ou avec couplages en parallèle, par le courant traversant les balais a' et a .

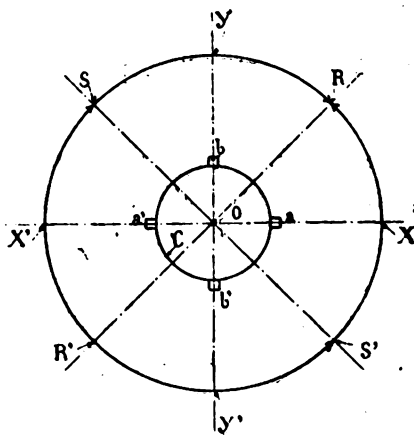


Fig. 16.

Si, maintenant, on fait passer simultanément un courant $2I$ de a' en a et un courant de $2I_2$ de b' en b , la figure 16 représente, en SR et $R'S'$, les nouveaux ampère-conducteurs additionnels dus aux courants $2I_2$.

Ces nouveaux ampère-conducteurs feront naître de nouveaux champs dans la région des spires en commutation.

On les détruira localement, dans les régions considérées, par un deuxième système d'enroulements des pôles auxiliaires analogue au

précédent et parcouru par le courant $2I_2$, dans une ou plusieurs dérivations.

On remarque, que, dans deux pôles auxiliaires diamétraux, les ampère-tours des deux systèmes d'enroulement se retranchent et dans les autres ils s'ajoutent.

Disposant, entre b' et b , la tension V aux balais primaires, on recueillera, entre a' et a au secondaire, un courant $2I$ constant pour une même valeur de V , mais variant proportionnellement à V et en raison inverse de la vitesse de rotation ω , à condition bien entendu, que la tension u dans le circuit secondaire extérieur ne soit pas trop élevée.

Lors des variations de régime, en écrivant que la somme des forces électromotrices, y comprises celles de self-induction, plus la somme des chutes ohmiques est nulle, soit dans le circuit primaire, soit dans le circuit secondaire, on est conduit à deux équations différentielles du premier ordre. Ce système se ramène comme on sait à la résolution d'une équation différentielle du deuxième ordre.

On conçoit donc que des courants pulsatoires puissent se produire. Il sera bon de disposer, sur le stator, un circuit amortisseur comme dans une commutatrice, mais plus résistants probablement, car je n'ai pas expérimenté depuis les expériences rudimentaires de 1902.

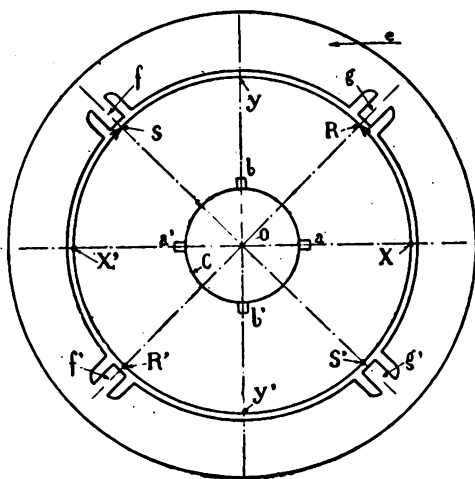


Fig. 17.

En résumé, diviseur de tension, survolteur-dévolteur et transformateur tournant, présentent des avantages.

Un classement définitif de leurs valeurs respectives nous semble prématuré.

Je demanderai maintenant à M. SOMAJNI de vouloir bien mettre en

évidence les caractéristiques essentielles qui différencient son système de celui de M. DELLA RICCIA.

M. SOMAJNI. — La différence entre le système de M. DELLA RICCIA et le mien consiste en ce que M. DELLA RICCIA, comme je l'ai dit, a réduit, presque à la moitié, la puissance nécessaire à la transformation du système LÉONARD ; avec le système Della Riccia, intervient une simple transformation d'énergie, c'est-à-dire que la transformation est encore double, mais c'est la transformation de la moitié de l'énergie ; c'est donc qu'il y a une complète transformation de la totalité de l'énergie.

Dans mon système, il ne s'agit pas de transformation, puisqu'il ne se produit aucun effort mécanique sur l'arbre. Les courants des différents enroulements se superposent sur le même induit, en produisant seulement des effets Joule sans produire d'effets magnétiques, puisque le champ magnétique d'induit (réaction) produit par les ampère-conducteurs des enroulements qui fonctionnent en moteur, est neutralisé sur place par l'égal champ magnétique des enroulements qui fonctionnent en dynamo. Il s'ensuit que les réactions d'induit sont nulles quelle que soit la charge, c'est-à-dire la valeur des courants débités par chaque enroulement. Sont aussi nulles, ou tout à fait négligeables, les forces contre électromotrices de réactance pendant la commutation, puisque la self-inductance des sections d'induit des enroulements moteurs est presque complètement neutralisée par l'induction mutuelle due aux sections d'induits des enroulements dynamo qui commutent dans le même temps. C'est ainsi qu'il n'y a jamais besoin, ni d'enroulements compensateurs du flux d'induit (pourvu que la distorsion du flux sous les pôles soit nulle), ni de pôles auxiliaires (pourvu que la force contre-électromotrice de réactance soit négligeable). Cela est vrai quelle que soit la puissance de la machine.

M. GRATZMULLER. — Mais il n'y a pas de courant nul dans vos induits.

M. SOMAJNI. — Le seul courant qui produise dans l'induit des effets magnétiques, est le courant du fonctionnement à vide, qui est évidemment négligeable. Pendant la charge, à ce courant de fonctionnement à vide se superposent les composantes des courants des moteurs, composantes qui neutralisent réciproquement leurs effets magnétiques. J'en donnerai un exemple.

Supposons un induit à trois enroulements qui divisent la tension de ligne dans le rapport 1 : 2 : 1. L'enroulement du milieu aura un nombre de conducteurs double par rapport à chacun des deux enroulements d'extrémité.

Supposons que nous fassions une dérivation quelconque, par exemple, entre A et B, dérivons le moteur M. Le courant I absorbé par celui-ci produira dans le dynamoteur deux composantes : I_d qui traverse l'enroulement de gauche et I_m qui parcourt les deux enroulements de droite. Puisque la machine est soumise à une excitation

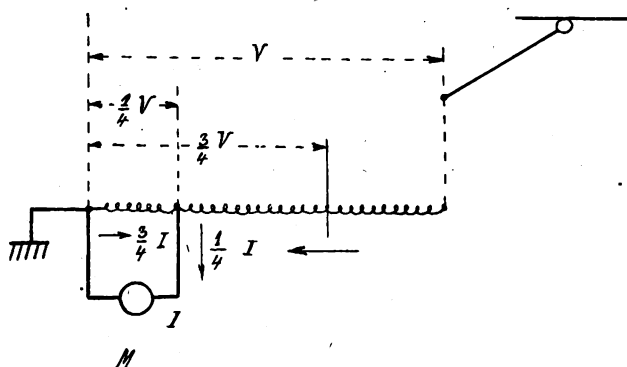


Fig. 18.

constante et à une tension constante, la vitesse ne peut pas changer et pour cela il faut que les ampère-conducteurs moteurs fournis par les deux enroulements de droite équilibrent les ampère-conducteurs dynamo de l'enroulement de gauche, ce qui arrive lorsque :

$$I_d = \frac{3}{4} I \quad \text{et} \quad I_m = \frac{1}{4} I.$$

Dans ce cas, si le moteur absorbe le courant I , la ligne doit seulement fournir le courant $I_m = \frac{1}{4} I$.

En résumé, la nécessité physique de l'absence d'un couple accélérateur résultant sur l'induit du dynamoteur, nous permet de calculer les courants dans les différents enroulements quel que soit le nombre de ceux-ci et le nombre et la position des moteurs dérivés, et nous permet aussi de déduire d'une façon tout à fait générale que les réactions sont nulles.

D'autre part, du côté des résistances, au lieu d'introduire une résistance réglable avec court-circuits progressifs (ce que j'ai fait jusqu'à aujourd'hui et que je continuerai à faire pour les constructions de petite puissance, puisque j'ai vu que l'absorption d'énergie est négligeable en comparaison des avantages pratiques qu'elle donne), on pourrait substituer à chaque résistance et disposer sur le même arbre du dynamoteur, un petit moteur excité en série. Je dis un petit moteur, puisqu'il doit supporter le courant débité au moteur, mais sa tension est seulement une petite partie de la tension de celui-ci. Ce

petit moteur excité série, fonctionne comme une simple résistance, il en a toutes les caractéristiques, sans avoir besoin d'aucune commutation ; il fonctionne toujours en moteur, non seulement pour le courant de démarrage, mais aussi pour le courant de freinage, il produit une force contre-électromotrice qui a toujours le sens qu'elle doit avoir, tendant à réduire la tension sur des moteurs dans le démarrage et à l'augmenter dans le freinage.

Je voulais faire seulement cette simple observation qui a un caractère tout à fait théorique, mais j'y tenais puisque, dans certains cas, la solution ci-dessus serait à examiner, au moins dans le cas de la grande traction. Pour la petite traction et même pour la moyenne, je ne pense pas qu'il vaille la peine d'introduire de complications dans le seul but d'économiser les trois ou quatre pour cent d'énergie au maximum, perdus dans les petites résistances de commutation. En tous cas, n'ayant jamais fait de construction de puissance supérieure à 150 ch par moteur, je n'ai jamais eu à l'adopter.

M. ILIOVICI, présente son rapport sur la protection sélective dans les réseaux ⁽¹⁾.

M. FALLOU, résume celui qu'il a présenté au Congrès de 1928 du Syndicat des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique sur la Protection sélective des lignes aériennes et souterraines contre les court-cuits ⁽²⁾.

M. KLONINGER. — Il est inutile de dire que je suis complètement d'accord avec les cinq conditions fondamentales que M. FALLOU donne comme critère d'une protection sélective sûre. S'il m'est toutefois permis de présenter une critique, elle ne portera que sur le temps minimum indiqué par M. FALLOU. Il est incontestable que cette valeur d'une demi-seconde pour assurer la protection sélective et le fonctionnement du disjoncteur, correspondrait à une solution idéale. Certains dispositifs, qui ne peuvent toutefois pas s'appliquer d'une façon générale, semblent permettre d'approcher de ce temps excessivement réduit. Il y a lieu toutefois de remarquer que c'est surtout en Amérique que l'on a insisté pour obtenir des temps de fonctionnement extrêmement courts, mais, là aussi, on est loin de les avoir

(1) Bulletin de la Société Française des Electriciens, n° 86 d'octobre 1928, p. 1063

(2) Société générale d'imprimerie et d'édition, 17, rue Cassette, Paris.

obtenus de façon sûre. Il semble que l'Union d'Electricité, dont le réseau se prête tout particulièrement à la protection par des déséquilibres, ait obtenu des résultats extrêmement satisfaisants, mais je ne crois pas qu'il soit possible de généraliser. Dans tous les cas, d'après les renseignements que j'ai pu obtenir personnellement en Amérique, et, bien que les grandes Sociétés de distribution y entretiennent des équipes imposantes de spécialistes en relais, s'occupant continuellement d'améliorer le fonctionnement des dispositifs de protection sélective, l'opinion sincère de la plupart des Américains est que les relais utilisés jusqu'à ce jour, sont loin d'assurer une protection sélective sûre en fonctionnement pratiquement instantané. D'ailleurs, je crois qu'il ressort du rapport de M. FALLOU, que le système de relais à fonctionnement instantané qu'il préconise, ne peut être employé que lorsqu'on est sûr d'avoir toujours plusieurs lignes en parallèle. Or, si nous considérons les conditions de fonctionnement en Europe et en France surtout, dans la plupart des régions, les systèmes d'interconnexion bouclés ne le sont qu'à une seule ligne ou deux au maximum, c'est-à-dire, qu'en cas d'avarie sur une ligne, même dans les réseaux en ligne double, la protection sélective doit pouvoir fonctionner sûrement lorsque les boucles ne sont plus constituées que par des lignes simples.

Comme M. FALLOU le dit lui-même, le seul relais qui puisse donner une sélection sûre à ce moment, doit être basé sur le principe d'impédance. Or, un relais de ce genre ne peut pas, bien entendu, fonctionner de façon instantanée. Toutefois, s'il est bien étudié, il pourra assurer des temps de fonctionnement beaucoup plus courts que ceux de la plupart des dispositifs employés aujourd'hui.

Pour remplir cette condition de temps de fonctionnement extrêmement court, il est essentiel que le temps de sélection entre deux relais consécutifs corresponde, autant que possible, au temps de fonctionnement du disjoncteur, avec une marge de sécurité peu importante. Si nous donnons $3/10$ de seconde pour le fonctionnement du disjoncteur, on pourra donc choisir $5/10$ de seconde environ comme temps de sélection correspondant à une longueur de section. Si le court-circuit se produit au milieu de la section, le temps de sélection du relais correspondra donc à la moitié de ces $5/10$ de seconde, c'est-à-dire $0,25$ seconde. Il est toutefois nécessaire d'ajouter à ce temps de sélection, le temps correspondant à l'inertie des différents organes de sélection. Il est certain que ce temps peut être considérablement réduit, si cette réduction correspond à un besoin réel.

L'expérience montre, toutefois, que la plupart des exploitants, tenant

compte du pouvoir de rupture insuffisant d'un grand nombre de disjoncteurs installés dans les réseaux, insistent pour ne pas avoir un déclenchement instantané. Ils sont très satisfaits si la sélection se produit de façon sûre entre 1 seconde et 1,5 seconde. Il me semble que ceci représente déjà un gain considérable sur la plupart des dispositifs employés aujourd'hui dans les réseaux.

Il est clair toutefois que, même en se basant sur le principe de sélection par impédance, on n'aura pas nécessairement une sélection sûre et très rapide car, pour réaliser le maximum de sécurité et de rapidité, il est essentiel que la proportion du temps à la longueur de section, soit pratiquement constante. Or, un relais d'impédance proprement dit ne peut donner satisfaction, car l'impédance elle-même n'est qu'une mesure très grossière de la distance, et, par conséquent, de la longueur de section. L'impédance étant constituée par la résistance ohmique et la réactance, un relais mesurant la résistance ne tiendra pas seulement compte de la résistance des conducteurs, qui est plus ou moins proportionnelle à la longueur de ceux-ci, mais aussi de celle de l'arc de court-circuit. Or, cette résistance de l'arc peut être, dans les réseaux à haute tension, plus important que celle d'un certain nombre de sections consécutives. Il en résulte donc que la sélection est complètement faussée et que l'on obtient, soit des temps de fonctionnement très longs, soit une sélection inexacte et, par conséquent, le déclenchement inutile d'un certain nombre de sections non endommagées. C'est pourquoi nous avons jugé essentiel, pour assurer une protection sélective sûre dans un temps très court, d'éliminer l'influence de la résistance de la ligne sur la sélection et de n'utiliser pratiquement que la réactance qui, n'étant pas influencée par l'arc de court-circuit et très peu par les facteurs variables de la ligne, est pratiquement en relation constante avec la distance en kilomètres, c'est-à-dire avec la longueur de section.

Ce principe de *sélection par réactance* étant posé, il nous a fallu plus de cinq ans pour réaliser un relais qui, non seulement répond exactement aux conditions fondamentales posées par M. FALLOU, mais qui, maintenant, a fait ses preuves dans des conditions de service excessivement sévères. La sécurité de la sélection y est indépendante de la valeur absolue du courant de court-circuit et est assurée même lorsque le courant est bien inférieur à la charge normale de la ligne. Cette sélection est également indépendante de la valeur de tension et assure une sélectivité directionnelle telle que moins de 3 millièmes de la tension normale sont encore suffisants pour assurer la sélectivité directionnelle. Le fonctionnement du relais est pratiquement le même,

aussi bien pour 20 fois le courant normal que pour $1/3$ du courant normal. Ce relais est standardisé et simplifié de telle façon qu'il suffit de déterminer, par un calcul très simple, la prise à choisir sur un petit transformateur intermédiaire, pour mettre immédiatement le relais à l'échelle de la section à protéger et tenir compte, sans autre réglage, des rapports de transformation des transformateurs de mesure existants, de la longueur de la section et du temps de sélection choisi. Les relais restent plombés en service, car ils ne nécessitent aucun réglage ou entretien. On élimine de cette façon automatiquement toutes les manœuvres de réglage qui, très probablement, sont, plus que toute autre chose, responsables du peu de sécurité des relais sélectifs employés aujourd'hui.

L'identité absolue de tous les relais utilisés dans un réseau, répond aux désirs d'un grand nombre d'exploitants.

J'ai essayé, sans entrer dans les détails, de signaler ce dispositif de protection sélective par réactance dont une description paraîtra sous peu. Les résultats inespérés que cet appareil a donnés en exploitation et l'intérêt considérable qu'il a rencontré, semblent laisser entrevoir un emploi de plus en plus généralisé de ce système qui, comme nous l'avons vu, assure même pour les réseaux les plus difficiles à protéger, une sélection absolue et un temps de fonctionnement extrêmement réduit.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ ⁽¹⁾

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

La Houille blanche. *Notions de droit et décisions de jurisprudence*, par Augustin REMAURY, édité par la Librairie du *Recueil Sirey* 22, rue Soufflot, Paris V^e. Un volume 18^{cm} × 12^{cm} de 382 pages broché. Don de l'éditeur.

ÉLECTROCHIMIE. ÉLECTROMÉTALLURGIE

L'Energie électrique de demain, par Auguste BERTHIER, ingénieur civil, édité par Desforges Girardot et Cie, 27 et 29, quai des Grands-Augustins, Paris VI^e. Un volume 20^{cm} × 17^{cm} broché, 236 pages. Don de l'auteur. Prix : 40 francs.

RECHERCHES PHYSIQUES

Matière Electricité Radiations, par Marcel BOLL, édité par Delagrave, 15, rue Soufflot, à Paris. Un volume 19^{cm} × 12^{cm} de 128 pages broché, 40 figures. Don de l'éditeur.

Le Magnétisme, par P. WEISS et G. FOEX, édité par Armand Colin, 108, boulevard Saint-Michel, à Paris. Un volume 17^{cm} × 11^{cm} de 216 pages. Don de l'éditeur.

CONGRÈS. STATISTIQUE. ACTES OFFICIELS. ANNUAIRE

Dictionar Roman-Francez, par SAINEANU Const, profesor de licen, Editura "Scrișul Romanesc" à Craiova. Un volume 16^{cm} × 11^{cm} de 478 pages. Don de Boyveau et Chevillet (Livres en toutes langues), 22, rue de la Banque, à Paris.

Dictionar Francez-Roman, par SAINEANU Const, profesor de licen. Editura "Scrișul Romanesc" à Craiova. Un volume 16^{cm} × 11^{cm} de 574 pages. Don de Boyveau et Chevillet (Livres en toutes langues), à Paris, 22, rue de la Banque. Prix : 18 francs les deux volumes.

Electricité. *Notions de droit et décisions de jurisprudence*, par REMAURY Augustin et Pierre TROLLEY DE PREVAUX, édité par la Société anonyme du *Recueil Sirey*, 22, rue Soufflot, Paris V^e. Un volume 18^{cm} × 12^{cm}, 405 pages, broché. Don de l'éditeur.

Siemens Jahrbuch 1928, édité par V.-D.-I. Verlag, G. M. B. H. Berlin, N. W. 7. Un volume relié de 20^{cm} × 16^{cm}, 504 pages. Don de l'éditeur.

XXI^e Congrès international de Tramways, de Chemins de fer d'intérêt local et de Transports publics automobiles. Rome 6-13 Mai 1928, édité par l'Union Internationale, 112, rue du Trône, à Bruxelles. Un volume broché de 27^{cm} × 21^{cm} de 848 pages. Don de l'éditeur.

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société Française des Electriciens, 14, avenue Pierre-Larousse, de 14 à 18 heures, tous les jours, sauf le Dimanche.

Chambre syndicale des Forces hydrauliques de l'Electrométallurgie, de l'Electrochimie et des industries qui s'y rattachent, à Paris, 7, rue de Madrid. Un volume broché de $21^{\text{cm}} \times 13^{\text{cm}}$, 1165 pages. Don de la Chambre syndicale.

DIVERS

Les Affaires et les Hommes, par Philippe GIRARDET, préface de Pierre MILLE, XV dessins de Jean Saint-Paul, édité par Berger-Levrault, 136, boulevard Saint-Germain, à Paris VI^e. Un volume $18^{\text{cm}} \times 12^{\text{cm}}$ broché, 176 pages. Don de l'auteur. Prix : 10 francs.

Le Professeur d'avenir, par Philippe GIRARDET, dessins de Jean Mille, édité par Berger-Levrault, 136, boulevard Saint-Germain, à Paris. Un volume de $18^{\text{cm}} \times 12^{\text{cm}}$ broché, 204 pages. Don de l'auteur. Prix : 12 francs.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. — TRANSMISSION PAR ONDES

Données numériques de radio-électricité, (T. S. F.) R Mesny. Extrait du volume VI des tables annuelles de constantes (1923-1924) 1 vol de 26 pages. Prix : relié 30 francs, broché 15 francs. Éditeur : Gauthier-Villars et Cie 55, quai des Grands-Augustins, Paris, VI^e. *Don de l'éditeur.*

Ce volume contient les renseignements numériques concernant :

- 1° les tubes électroniques et en particulier, les caractéristiques de triodes d'émission et de triodes de réception de la General Electric Co, ainsi que celles de diodes de la même société, les caractéristiques des émissions électroniques des filaments,
- 2° la détection et les influences qui agissent sur elle,
- 3° la perméabilité en haute fréquence du fer et du nickel,
- 4° la propagation des ondes et la comparaison entre les champs mesures et ceux qui résultent de l'application de la formule Austin-Cohen,
- 5° Les mesures de rayonnement et en particulier celles effectuées au Naval Radio Research Laboratory à Washington et au laboratoire de la télégraphie militaire à Meudon près Paris, en outre, la relation qui existe entre la température et le rayonnement ; enfin, la variation du rayonnement avec la distance,
- 6° la radiogoniométrie et les influences qui agissent sur l'amplitude des déviations.

Il contient, en outre, des tables très complètes pour le calcul de l'inductance d'une bobine circulaire à plusieurs couches de section rectangulaire ; des tables, de l'induction mutuelle entre deux cercles et deux arches coaxiaux ; des tables pour l'inductance des bobines polygonales et des bobines à une seule couche. Cet ouvrage qui se rapporte aux années 1923 et 1924, constitue le document scientifique le plus complet qui existe sur toutes les données numériques relatives à la radioélectricité.

Câbles téléphoniques pour longues distances, par A. ENGELHARDT D'Ingénieur. Traduit de l'allemand sous la direction de l'auteur par Mlles H. Voiturin, Ingénieur E.S.M.E. et N. Beresouski-Chestov. Licenciée es sciences, Ingénieur E.S.E. Un volume in 8 raisin (16 × 25) de 219 pages avec 94 figures dans le texte. Relié pleine toile. Prix net : 42 francs Éditeur : Librairie polytechnique Ch. Béranger. *Don de l'éditeur.*

Cet ouvrage s'adressant principalement aux employés des administrations des téléphones, ainsi qu'aux Ingénieurs des entreprises industrielles l'auteur évite de recourir aux mathématiques supérieures, afin de le rendre accessible à un plus grand nombre de lecteurs en outre, il a recours à des comparaisons avec des cas analogues rencontrés plus couramment en physique dans le but de simplifier l'exposé des questions qu'il traite.

La description des lignes Krarup et des lignes pupinisées fait l'objet des deux premiers chapitres ; les lois principales qui régissent les courants et les tensions y sont établies. Les progrès réalisés pendant les dix dernières années dans l'établissement et l'exploitation des lignes téléphoniques à grandes distances sont décrits dans les chapitres III et IX. Les questions concernant les amplificateurs pour courants téléphoniques qui ont rendu possible l'établissement de projets de réseaux mondiaux sont spécialement traités dans les chapitres VIII et XI. Les autres chapitres V, VI, VIII, X, XI, traitent des perfectionnements introduits dans la technique téléphonique proprement dite. L'auteur explique dans « l'Introduction » pourquoi il n'a pas traité la question de la téléphonie multiple par courants porteurs, jusqu'à ce jour on n'est pas encore parvenu à utiliser les hautes fréquences sur les lignes pupinisées qui doivent occuper une place prédominante dans l'avenir des communications à grandes distances. Cet ouvrage, très instructif répond parfaitement au but que s'est proposé l'auteur ; il est facile à comprendre, les traductrices l'ont rendu très facile à lire.

Zur theorie des Fernsprechverkehrs, Einführung und Ueberblick von K Frei (I Bänder » Einzel darstellungen aus der elektrischen Nachrichten technik, herausgegeben von F. Moench 8° 138. seiten 1928 Weidmannsche Buchhandlung, Berlin. *Don de l'éditeur.*

Ce fascicule est consacré à la théorie des transmissions téléphoniques et sa bibliographie mentionne des articles des Annales des Postes et Télégraphes de France sur la téléphonie automatique et les organes qu'elle utilise, ainsi que des articles anglais et allemands sur les transmissions téléphoniques.

Die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen von Dr Alfred Sacklowski (II. Band der Einzeldarstellungen aus der elektrischen Nachrichtentechnik herausgegeben von F. Moench) 8° 129 seiten 1928. Weidmannsche Buch handlung. Berlin *Don de l'éditeur.*

Ce fascicule traite de la diffusion des ondes électromagnétiques et sa bibliographie cite un grand nombre d'auteurs français anglais et allemands, dont les travaux font autorité dans cette branche de la physique.

RECHERCHES PHYSIQUES

Données numériques d'électricité, magnétisme, électrochimie, par R AUDUBERT, BUFFAT, DURAND, FOEX et de MASSACRÉ. Extrait du volume VI des Tables annuelles de constantes (1923-1924), 1 vol de 174 pages. Prix relié 90 francs, broché 70 francs. Éditeur : Gauthier-Villars et C^e, 55, quai des Grands-Augustins, Paris, VI^e. (*Don de l'éditeur.*)

Ce volume contient les données suivantes, en ce qui concerne l'électricité : conductivité des métaux, des alliages, des composés métalliques ; constantes diélectriques des corps simples, des composés inorganiques, des composés organiques et des substances diverses ; forces électromotrices thermoélectriques des alliages, et propriétés thermoélectriques des pellicules de métaux précieux ; diverses caractéristiques se rapportant à l'arc continu et alternatif, renseignements numériques sur l'appareillage électrique, les conducteurs et les machines.

Les données relatives au magnétisme sont les suivantes : Influence des impuretés sur les propriétés magnétiques du fer, phénomènes magnétocaloriques du nickel, propriétés du fer électrolytique pur ; propriétés ferro-magnétiques des aciers et de divers alliages magnétiques des ferro-nickels, du permalloy, du fer armco. Renseignements concernant les propriétés et les caractéristiques des aimants permanents, effets du temps sur l'aimantation ; magnétostriction et influence de l'aimantation sur les propriétés électriques, effet Wiedemann ; para et diamagnétisme de quelques ions de l'argon et de l'hélium : moments atomiques, dimensions des molécules ; magnétochimie ; coefficients d'aimantation d'hydroxydes métalliques, magnétooptique, phénomènes de Zeemann et de Kerr ; biréfringence magnétique des liqueurs mixtes ; mesures et appareils.

Les données relatives à la conductibilité électrique des électrolytes se rapportent aux solutions aqueuses, aux électrolytes dans les solvants, aux mélanges d'électrolytes. La conductibilité des sels fondus, des liquides purs, les nombres de transport et l'hydratation des ions, les constantes de dissociation électrolytique des solutions aqueuses et alcooliques figurent dans cette partie de l'ouvrage.

Les données relatives aux forces électromotrices se rapportent aux piles et aux accumulateurs, aux différences de potentiel de contact, aux tensions de décomposition, aux surtensions cathodique et anodique, au potentiel d'oxydation-réduction aux titrages électrométriques.

Cet ouvrage donne tous les résultats des études et des travaux exécutés dans le monde entier aux cours des années 1923 et 1924 sur l'électricité, le magnétisme et l'électrochimie. Un index bibliographique annexé à chaque chapitre, donne les sources auxquelles ces renseignements ont été puisés, le lecteur s'y reportera s'il veut se documenter plus complètement sur un sujet déterminé. Les ingénieurs, les industriels, et tous ceux qui s'intéressent à l'électricité et à la chimie consulteront avec fruit cette savante documentation dans laquelle ils trouveront d'utiles renseignements pour leurs travaux ou pour leurs recherches.

Théorie ionique de l'excitation des tissus vivants, par le professeur-docteur P. LASAREFF, membre de l'Académie des Sciences de LENINGRAD, Directeur de l'Institut de physique et de biophysique de Moscou, un volume.

in-4, 246 pages, 61 figures Prix broché 40 francs. Éditeur : librairie scientifique, Albert Blanchard, 3 et 3 bis, Place de la Sorbonne. *Don de l'éditeur.*

Les recherches théoriques et expérimentales effectuées par l'auteur jusqu'en 1927 et dont le présent ouvrage contient les résultats, furent inspirées par le désir de donner une explication physique des phénomènes complexes de l'activité cérébrale. Ce problème est extrêmement compliqué et il n'a pas été entièrement résolu jusqu'ici, mais l'étude des phénomènes simples, tels que les sensations et les mouvements permet de transporter la théorie de l'excitation des tissus vivants sur un terrain purement physique.

Les trois premiers chapitres traitent de l'excitation du tissu vivant, des lois fondamentales de l'excitation et des lois générales de l'excitation des nerfs et des muscles.

La théorie des sensations lumineuses dans la vision périphérique fait l'objet du chapitre IV.

Le chapitre V donne la théorie des sensations lumineuses dans la vision colorée et de l'excitation des nerfs par les courants de haute fréquence.

Enfin, le chapitre VI traite de l'excitation de l'ouïe, de l'odorat, de la sensibilité cutanée par les ions.

L'auteur fait l'application de l'analyse mathématique aux faits observés expérimentalement; il en déduit des lois quantitatives qui constituent une théorie de l'excitation.

On peut objecter que l'excitation, phénomène biologique complexe est beaucoup plus compliquée que la théorie ne l'indique, et on est obligé d'admettre l'existence de réactions dans les substances hypothétiques qui constituent les tissus vivants et de faire des hypothèses pour simplifier la représentation analytique des phénomènes; c'est ainsi que dans la vision, par exemple, on suppose que la rétine est un milieu continu sans aucune structure, et que la lumière est également un phénomène continu, alors que la rétine a une structure cellulaire et que la lumière est formée de quanta séparés. Néanmoins, la théorie de l'excitation par les ions est appelée à soulever un certain nombre de questions intéressant la physique et la chimie physique et à ce titre le présent ouvrage offre un très grand intérêt pour les les biologistes et les physiciens.

FORMULAIRE. — AIDE-MÉMOIRE. — MANUELS. — DICTIONNAIRE

Dictionnaires techniques illustrés, en six langues, français, allemand, anglais, russe, italien, espagnol, Tome, II. *Electrotechnique et électrochimie*, par Alfred Schlomann. Édition entièrement refondue et augmentée de 1304 pages contenant 3965 illustrations et de nombreuses formules. Éditeur : Technische Wörterbuch. Verlag G. M. B. H. Berlin. Dépôt principal pour la vente en France : Dunod éditeur, 92 rue Bonaparte, Paris VI^e. Prix relié toile 488 francs. Franco France et colonies 493 fr. 25. (*Hommage de l'éditeur*).

Le langage technique de tous les pays s'est considérablement enrichi, du fait des tentatives universelles de normalisation, d'un grand nombre de définitions et d'expressions dont il était nécessaire de fixer la signification exacte dans toutes les langues, ainsi que les termes employés par les techniciens de tous les pays pour les désigner. Cette tâche difficile, et nécessairement un peu ingrate, a été entreprise par M. Schlomann en faisant appel au concours des techniciens, des Ingénieurs et des Industriels les plus qualifiés de France, d'Angleterre, d'Allemagne, de Russie, d'Italie et d'Espagne, soit près de 1.100 collaborateurs, pour la vérification de la terminologie adoptée. On a mis aussi à contribution les vocabulaires et dictionnaires techniques en usage dans ces divers pays.

Cette nouvelle édition diffère de celle qui l'a précédée par l'addition de deux chapitres : ceux qui traitent de la « Législation spéciale de l'électricité » et de « l'Électro-économie » ; leur importance ne peut échapper à tout électrotechnicien en raison de leur utilité indéniable, dans les conférences mondiales, s'occupant des questions de distributions d'énergie électrique. En outre, les chapitres suivants ont été l'objet d'un développement considérable : électrochimie, électrophysique, technique des compteurs électriques, technique des ateliers, technique des isolants, éclairage électrique, électricité médicale et rayons X, technique des collecteurs, constructions des machines électriques, appareils de commande, technique de la protection, installations de force et réseaux de distribution, commande par moteurs électriques, chauffage électrique.

Dans l'établissement de la terminologie allemande, il a été tenu compte également des expressions techniques usitées en Autriche et dans les pays de langue allemande de la Suisse et de la Bohême : Les techniciens de l'Amérique du Nord, trouveront dans le dictionnaire anglais les expressions qu'ils emploient ; le dictionnaire espagnol contient les termes techniques employés en Amérique du Sud.

Les particularités qui caractérisent ces dictionnaires se résument dans les principes fondamentaux suivants : chaque volume n'embrasse qu'une seule branche de la technique ; chaque mot, notion ou objet est accompagné d'une représentation figurée sous forme de dessin symbole ou formule compris de tous ; le classement adopté est systématique et l'on trouve à la fois le mot ou l'expression dans les six langues, mais une table alphabétique placée à la fin du volume renvoie à la place occupée par chaque mot ; ces dictionnaires constituent par leur groupement méthodique leurs dessins et symboles, des manuels abrégés de technologie.

Cette nouvelle édition de l'ouvrage de M. Schlomann est appelée à rendre les plus grands services aux techniciens de l'électricité, aux savants, aux industriels et aux traducteurs d'ouvrages d'électrotechnique.

Agenda Dunod 1929 « Electricité » (*Aide-mémoire pratique de l'Electricien*, par L.-D. FOURCAULT, rédacteur en chef de *l'Electricien*, 48^e édition. Volumé 10 $\times$ 15, 464 pages, 130 figures, 1929. Prix franco. France et ses Colonies : relié pégamoïd, 17 fr. 85 ; étranger, tarif postal normal : relié pégamoïd, 20 fr. 90 ; étranger, tarif postal réduit : relié pégamoïd, 19 fr. 70. DUNOD, éditeur, 92, rue Bonaparte, Paris, 6^e. Don de l'éditeur.

Cette édition annuelle de l'agenda Dunod « Electricité », mise à jour des progrès les plus récents de la Technique, constitue pour l'électricien, l'ingénieur et l'industriel un aide-mémoire remarquablement complet contenant tous les renseignements méthodiquement classés qui se rapportent à l'Electricité et à ses multiples applications :

Formules et Symboles usuels, Unités de mesure. Phénomènes magnétiques, électrostatiques et électromagnétiques, phénomènes calorifiques et lumineux, méthodes d'éclairage, unités photométriques, flux émis par les lampes à incandescence. Des chapitres sont consacrés à la production de l'énergie électrique, aux canalisations, à la transformation de l'énergie.

Les accumulateurs font l'objet d'une étude spéciale suivie de pages intéressantes sur l'électrochimie et ses applications.

Les divers genres de moteurs sont étudiés au point de vue de leurs propriétés et de leurs conditions d'emploi.

La distribution de l'énergie électrique est traitée en vue des applications pratiques. La radiotélégraphie et la radiophonie avec leurs plus récents perfectionnements ont trouvé place dans ce volume. Enfin, cette édition, comme les précédentes, contient toute la législation et la réglementation sur les Distributions d'énergie électrique.

Agenda Dunod 1929 « Physique Industrielle », par J. IZART, Ingénieur-Conseil, 9^e édition. Volume 10 $\times$ 15, 452 pages, 132 figures, 1929. Prix franco. France et ses Colonies : relié pégamoïd, 15 fr. 85 ; étranger, tarif postal normal : relié pégamoïd, 20 fr. 90 ; étranger, tarif postal réduit : relié pégamoïd, 19 fr. 70. DUNOD, éditeur, 92, rue Bonaparte, Paris. Don de l'éditeur.

Ce volume, exactement tenu à jour, contient tous les renseignements utiles à l'Industriel, à l'Ingénieur, au Constructeur, aux Chefs d'ateliers et aux Contremaîtres.

Les principaux chapitres se rapportent aux Mesures et aux Conversions d'Unités, à la Thermodynamique, aux Propriétés des Gaz et des Vapeurs, à l'Hygrométrie, au Séchage, à l'Evaporation, à la Condensation, au Mouvement des Fluides et aux Pompes, au Mouvement des gaz sous faible pression et aux Ventilateurs, à l'Air Comprimé et au Mouvement des gaz sous pression, au froid et aux machines frigorifiques, à la Combustion, aux Foyers et aux Générateurs de Vapeur, aux Economiseurs, aux Surchauffeurs, aux Moteurs à Vapeur et aux Condenseurs, aux Gazogènes et aux moteurs à combustion interne, au Chauffage et à la Ventilation, au Rafraîchissement, enfin à la Législation du Travail.

L'édition de 1929 a été complétée par de nombreux tableaux, notamment sur les consommations de vapeur admises pour les divers types de machines à piston, sur la consommation des Moteurs à explosion et des Moteurs Diesel, etc. Il contient, en outre, divers articles très intéressants, notamment sur le contrôle des gazogènes.

IL Y A 30 ANS

Réunion mensuelle du 1^{er} mars 1899.

Présidence de M. R.-V. PICOU.

M. Maurice LEBLANC, continue l'exposé de son *Etude sur la transmission et la distribution de l'énergie par courants alternatifs*. Cinquième Partie; *Transformateurs-redresseurs* :

Il traite la question de la commutation dans les transformateurs-redresseurs à courants polyphasés et il termine en indiquant dans « un exemple de réalisation » les données de construction d'un transformateur-redresseur de 300 kW, triphasé, 4 000 V de tension simple, fréquence : 50 p- : s, le secondaire débitant du courant continu 500 V devant servir à l'alimentation d'un réseau de tramway.

Dans cet appareil, le poids total en fer est de 4 148 kg, soit 13,8 kg par kW, le poids total du cuivre (fil et ruban) est de 3 178 kg, soit : 10,58 kg par kW ; la perte totale d'énergie est de 10 000 W ; le rendement est donc de : 0,97.

M. R.-V. PICOU, fait une communication sur *La réaction d'induit dans les machines dynamo-électriques*.

M. KORDA, fait remarquer qu'une cause autre que l'augmentation de la réluctance intervient dans la réaction d'induit : celle qui provient des fuites magnétiques qui peuvent être accrues par la circulation du courant induit.

M. BRUNSWICK, signale qu'il a étudié, de concert avec M. ALLIAMET, la question de la réaction d'induit en se basant sur les fantômes magnétiques qu'on peut relever sur les dynamos, et ils sont arrivés à des conclusions du même ordre que celles de M. PICOU à savoir que l'augmentation de réluctance manifestée par les fantômes est la cause principale de la réaction.

M. le Président fait part à la Société des résultats de la « Souscription pour le monument L. Gaulard ». M. E. SARTIAUX, président du Comité qui s'est chargé de réunir les souscripteurs, a fait parvenir la somme de 2 560 francs, montant des souscriptions recueillies, ainsi que la liste des souscripteurs : Le but poursuivi est atteint, et les remerciements sont adressés aux généreux souscripteurs.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTE RENDUS DES RÉUNIONS :

Assemblée générale annuelle du mercredi 10 avril 1929, p. 342.
Adoption du rapport de la commission des comptes.
Ratification de l'achat d'un terrain à Malakoff
Réunion ordinaire mensuelle du mercredi 10 avril 1929, p. 343.
Admission de Membres titulaires, p. 343.
Membres décédés, p. 345.
Don à la Société, p. 345.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Appareil à lecture directe pour la mesure des champs magnétiques « gauss-mètre » (M. G. DUPOUY), p. 348. Le taxiphone (M. DE LA MORICIERE), p. 371.
Les redresseurs de courants alternatifs (SOULIER), p. 381.
Discussion de la semaine d'octobre 1928 (*suite*).
5^e SECTION. — Sommaire, p. 388. — Le télétype et le télémixte (MM. REYNAUD-BONIN, CHAUVEAU, CLAVIER), p. 389. Le sférographe (MM. REYNAUD-BONIN et CHAUVEAU), p. 395. Les relations téléphoniques entre Paris et la proche région parisienne (MM. CAILLEZ et REYNAUD-BONIN), p. 396.
6^e SECTION. — Sommaire, p. 397. — Le chauffage par induction (MM. BUNET, RIBAUD, BRYLINSKI, GUTMANN), p. 398. Les éclateurs de fours à haute fréquence (MM. DUFOUR et GUTMANN), p. 407. Questionnaire du Comité de la conférence des grands réseaux pour l'amélioration du facteur de puissance (MM. ILIOVICI, DARRIEUS, GIRAULT, BRYLINSKI, TOURNAYRE, BUDEANU, LIENARD), p. 413. Dispositif permettant d'obtenir les composantes symétriques des courants, des tensions ou des puissances dans un système polyphasé sans l'emploi de filtres (MM. ILIOVICI et DARRIEUS), p. 433.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p. 434. Texte, p. 434.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 449.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 450.

IL Y A TRENTÉ ANS, p. 452.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

du Mercredi 10 Avril 1929.

Présidence de M. BUNET.

L'Assemblée générale est ouverte à 20 h. 30 (1).

M. DELIONS lit le rapport établi par les Commissaires aux comptes. Ce rapport mis au voix est adopté à l'unanimité.

M. JANET, Directeur du Laboratoire Central et de l'Ecole Supérieure d'Electricité, donne lecture de son rapport annuel sur ces deux établissements.

M. GROSSELIN, Délégué général résume le rapport du Comité d'Administration.

M. le Président rend compte des mesures prises en exécution des décisions du Comité d'Administration, pour l'achat d'une enclave dans le terrain de la Société, à Malakoff. Conformément à l'article 10 des statuts, il prie l'Assemblée générale de se prononcer sur la ratification de ces mesures.

A l'unanimité des membres présents, l'Assemblée générale prononce cette ratification.

L'Assemblée générale est levée à 21 h. 15.

(1) Les rapports lus ou résumés en séance seront publiés *in extenso* dans le *Bulletin* de Mai 1929.

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Mercredi 10 Avril 1929

Présidence de M. BUNET.

La séance est ouverte à 21 h. 15.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

- Baldwin** (Arthur), vice-président de l'International general Electric Company, 4, rue d'Aguesseau, à Paris. Domicile : 47, avenue Hoche, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Bellescize** (René-Joseph de), administrateur délégué de la Société des Condensateurs de Trévoux, Ingénieur E.C.P., 26, rue de Berri, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Ilievici et de la Gorce.
- Blache** (Yvon), ingénieur E.B.P., ancien chef de mission à l'Île de la Réunion, ancien chef de service à la Société Westinghouse et à la Compagnie Auxiliaire d'Electricité et d'Entreprise, 26, rue de Turin, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Bunet et Blaringhem.
- Boysson** (Alain de), administrateur des Etablissements Soulé, à Bagnères-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Delasalle et Rousseau.
- Caye** (Edouard-Michel), directeur technique de la Société des Condensateurs de Trévoux, 54 bis, rue Michel-Ange, à Paris (16^e). — Présenté par MM. de la Gorce et Girault.
- Chalons** (Charles), directeur des Constructions Electriques de France, à Tarbes (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Delasalle et L. Rousseau.
- Chervel** (Pierre-Charles-Emile), ingénieur à la Compagnie des Chemins de fer du Midi, 24, rue Jules-Lassorrie, à Tarbes (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Delasalle et L. Rousseau.
- Claude** (André), secrétaire de M. Georges Claude, ingénieur E.P.C.I., 6, rue Jules-Gautier, à Nanterre (Seine). — Présenté par MM. Boucherot et Bunet.
- Damisch** (Albert-Emile-Eugène), directeur Commercial de la Société générale de Constructions Electriques et Mécaniques « Alsthom », 173, boulevard Haussmann, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Bunet et Detœuf.
- Donner** (Meier), élève à l'E.S.E., 21, rue Valette, à Paris (5^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Dumas Primbault** (Jacques-Marie-Georges), élève à l'E.S.E., 44, avenue Niel, à Paris (17^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Dussarte** (André), directeur de l'Energie Industrielle Réseau de Seine-et-Marne, à Nangis (Seine-et-Marne). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Ecole Nationale d'Arts et Métiers de Cluny** (Saône-et-Loire). — Présentée par MM. P. Janet et Chaumat.
- Elian** (Jean), élève à l'E.S.E., 38, rue du Texel, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Faust** (Gontran-Jean-Louis), directeur de l'Ecole Bréguet, 81, rue Falguière, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Chaumat et de Pistoye.
- Ferry** (Paul-Marie-Vincent), électricien, 49, rue Gambetta, à Lunéville (Meurthe-et-Moselle). — Présenté par MM. Soulier et Laudet.

- Frutier** (Joseph-François-Emile), ancien élève E.T.P., Commerce matériel électrique ainsi que l'installation, 26, rue aux Halles, à Bagnères-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Delasalle et L. Rousseau.
- Gaige** (Paul), directeur technique de la Société générale des Condensateurs et appareils de protection électrique, 27, rue de Mogador, à Paris (9^e). Domicile : 39 *ter*, avenue Horace-Vernet, Le Vésinet (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. F. Cordier et Bunet.
- Gevin** (André-René-Georges), élève à l'E.S.E., 4, avenue de la Terrasse, à Montmorency (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Gruber** (Charles), ingénieur en chef Société « Le Transformateur », Petit-Quevilly (Seine-Inférieure), 41, rue Lamartine, à Rouen (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Fallou et Barrusta.
- Hector** (Marcel-Henri-André), élève à l'E.S.E., 5, rue Villebois-Mareuil, à Vincennes (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Hogarth** (Bertie), administrateur de la Société générale d'Electrométrie, 12, rue Barbès, à Levallois-Perret (Seine). — Présenté par MM. Eschwège et F. Meyer.
- Hublet** (Léon-Jules), Etablissements Ch. Grimal et Cie, 1, rue Lordat, à Tarbes. Domicile : rue du Maréchal-Foch, à Argelès-Gazost (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Delasalle et L. Rousseau.
- Irague** (Maurice-Louis), ingénieur E.S.E. et I.E.T., 4, rue Herschel, à Paris (6^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Iweins** (Paul), Secrétaire général des Tréfileries et Laminoirs du Havre, à Paris, 53, rue La Boétie à Paris (8^e). — Présenté par MM. Robard et Chaumat.
- Jouanne** (Gaston-Léon), ingénieur-conseil, Villa Berthe, route de Lourdes, à Tarbes (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Delasalle et L. Rousseau.
- Lagron** (Pierre), ingénieur à la Compagnie Alsthom, 20, place des Fêtes, à Clichy (Seine). — Présenté par MM. Boucherot et Bunet.
- Le Normand** (Pierre-Edouard-François-Joseph), élève à l'E.S.E., 51, avenue de l'Observatoire, à Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Lucas** (Paul-Edmond), ingénieur du génie rural et E.S.E., 15, rue Voltaire, à Colmar (Haut-Rhin). — Présenté par MM. Ill et Brylinski.
- Martin** (René-Philibert-Jean), chef de service électrique à la Société des Hauts-Fourneaux de Rouen, route Nationale, Petit-Couronne près Rouen (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Popp** (Clarence-M.), ingénieur attaché à l'International general Electric Company, 4, rue d'Aguesseau, à Paris (8^e). — Domicile : 10, route de Versailles, à Louveciennes (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Rose**, ingénieur en chef aux Ateliers d'Orléans C.G.E.), 88, avenue Dauphine, à Orléans (Loiret). — Présenté par MM. Genkin et Grosselin.
- Rosenwald** (Gaston), administrateur délégué de la Société générale d'Electrométrie, 26, rue Henri-Rochefort, à Paris (17^e). — Présenté par MM. Eschwège et F. Meyer.
- Roussel** (Jules-Charles-Louis), directeur de la Succursale de Paris de la Société des Appareils Electriques et Compteurs Garnier, 115, rue Cardinet, à Paris. Domicile : 6, rue Léon-Delhomme, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Sabouraud** (Henry), directeur de la Compagnie d'Alais Froges et Camargue, Usines de Beyrède et Sarrancolin (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Rousseau G. et Rousseau L.
- Scelles** (Robert-Pierre), ingénieur E.P.C.I. Banque Chavannes, 138, avenue des Champs-Élysées, à Paris. Domicile : 2, rue Bara, à Levallois-Perret (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Boucherot.
- Sicard** (Paul), ingénieur aux Constructions Electriques de France, 25, rue Théophile-Gautier, à Tarbes (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Lodoux et Delasalle.
- Société Electrometallurgique de Montricher** à Saint-Julien de Maurienne (Savoie). — Présentée par MM. Bunet et Grosselin.
- Société Générale d'Electrométrie**, 10 et 12, rue Rodier, à Paris (9^e). — Présentée par MM. Eschwège et F. Meyer.
- Société Havraise d'Energie Electrique**, 80, rue Saint-Lazare, à Paris (8^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.

Société Michel Bonnier, Machines électriques spéciales, 18-20, rue Saint-Gilbert, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Rigollet et Chareyron.

Vignal (Auguste-Julien-Léon), ingénieur E.C.L., élève à l'E.S.E., Rugby Hôtel, 103, rue Brancion, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Locquin et Trouillet.

Yungwitz (Michel), ingénieur-conseil, 143, avenue Emile-Zola, à Paris (15^e). — Présenté par MM. Ilivici et Cordier.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président annonce les décès de nos collègues :

M. MENJOU qui se distingua dans l'établissement de lignes électriques à haute tension; il dirigea les aménagements de la Société de transport d'énergie des Alpes, notamment ceux de la grande ligne à 120 000 V de la Haute-Isère à Lyon.

M. PARSONS, sous-directeur de la Compagnie Thomson-Houston, administrateur de diverses autres sociétés, qui était un de nos vieux membres de la Société des Electriciens, de laquelle il faisait partie depuis quarante ans.

M. WIDMER, dont le nom restera attaché au développement du réseau de la Compagnie Parisienne de Distribution d'Electricité, et adresse aux familles de nos collègues disparus les condoléances de notre Société.

Il adresse à Mlle Péliissier, les remerciements de la Société, pour le don qu'elle a fait à la bibliothèque, en mémoire de son frère M. Péliissier et qui consiste en documents originaux sur les compteurs et les machines électrostatiques.

M. CHAUMAT présente une communication sur *les vues modernes en électrostatiques* (1).

Il rappelle qu'on oublie trop souvent, dans l'enseignement de l'électricité statique, l'existence des deux charges de signes contraires.

Il signale qu'il est beaucoup plus aisé de réussir les expériences d'électricité statique en utilisant l'énergie à basse tension fournie par les piles au lieu de recourir à l'énergie à haute tension produite par frottement. Il exécute ainsi une série d'expériences montrant que les corps électrisés ont de grandes analogies avec les aimants; il reproduit

(1) Cette communication paraîtra *in extenso* dans un *Bulletin* ultérieur.

des « aimants électrostatiques » avec ou sans rémanence, des spectres de lignes de force, les rotations dans un champ électrique, le carillon électrique. Il souligne l'illogisme qu'il y a à dire que les deux feuilles de l'électroscope chargé se repoussent, en oubliant l'action de tout le reste et, en particulier, des parois chargées d'électricité de nom contraire.

Il rappelle que si l'on déforme un condensateur chargé, sa capacité varie, et par suite la différence de potentiel entre ses armatures. On peut, sur ce principe, réaliser des moteurs, des générateurs, des transformateurs dont la puissance est évidemment limitée par les qualités électriques des matériaux, lesquelles sont très inférieures aux qualités magnétiques du fer. Mais il envisage la réalisation d'une machine à plateaux tournants plus puissante que les machines électrostatiques actuelles et surtout qu'il est possible de calculer tout comme on calcule un alternateur.

M. FABRY. — Les champs magnétique et électrique présentent, comme M. CHAUMAT l'a signalé par ses très intéressantes expériences, de grandes analogies, mais aussi des différences fondamentales : les lignes de force électriques, aboutissant à deux charges contraires, ne sont jamais fermées : les lignes d'induction le sont toujours; le champ électrique dépend d'un potentiel uniforme; le champ d'induction d'un potentiel non uniforme : la seule manière de produire celui-ci est de déplacer une charge électrique.

J'ai quelquefois pensé à la réalisation de moteurs et de générateurs électrostatiques; j'étais arrivé à cette conclusion que ces appareils seraient d'une réalisation très difficile et, probablement, resteraient très inférieurs aux appareils électromagnétiques; je pensais que la raison de cette infériorité était la suivante : la densité en volume de l'énergie que l'on peut obtenir sous forme électrostatique est beaucoup plus faible que la densité facilement obtenue sous la forme magnétique; ce fait n'est pas lié aux valeurs des constantes diélectriques et des perméabilités magnétiques, mais à la rigidité diélectrique insuffisante. Un champ électrique même très médiocre (évalué par la densité d'énergie) fait *claquer* tous les milieux; le champ magnétique est sans danger.

Un véritable transformateur électrostatique a été réalisé par Planté, dans sa « machine rhéostatique », appareil bien oublié, mais dont il avait tiré des effets remarquables; certains phénomènes observés par lui avaient peut-être une certaine analogie avec la fameuse « foudre en

boule », si toutefois ce phénomène existe, ce dont, pour ma part, je ne suis pas convaincu.

M. DARRIEUS. — La communication de M. Daniel BERTHELOT en 1916 mettait déjà en évidence certaines analogies entre les phénomènes électriques et magnétiques que traduit, par exemple, l'identité de forme des deux lois de Coulomb ; mais le fait qu'il n'a guère été tiré de ce rapprochement de conséquences pratiques fécondes, par exemple sous forme d'un théorème de corrélation permettant de transformer automatiquement un ensemble de faits ou schéma appartenant à un ordre de phénomènes, en un autre correspondant, de l'espèce opposée, confirme bien le caractère essentiel des différences révélées par l'expérience élémentaire de l'aimant brisé, et que M. FABRY vient de rappeler. Une relation beaucoup plus profonde entre les deux catégories de phénomènes, et qui trouve son expression la plus parfaite dans la théorie de la relativité, associe le champ électrique, non au champ, mais à l'induction magnétique, et corrélativement le champ magnétique au déplacement électrique de Maxwell.

M. GRATZMULLER. — Je rappelle qu'il y a vingt-cinq ans, Georges Claude a expérimenté des condensateurs à plateaux de glace de très forte capacité.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie et félicite vivement M. CHAUMAT de la façon magistrale dont il a exécuté ses expériences, si profitables pour tous ses auditeurs. Son enthousiasme pour les nouvelles machines qu'il a imaginées sera partagé par tous ceux qui les verront fonctionner ; je souhaite très sincèrement que ce soit dans un avenir rapproché.

Je remercie aussi ceux de nos membres qui ont bien voulu présenter des observations.

La séance est levée à 22 heures.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

APPAREIL A LECTURE DIRECTE POUR LA MESURE DES CHAMPS MAGNÉTIQUES « GAUSSMÈTRE » ⁽¹⁾

par M. G. DUPOUY,

Agrégé de l'Université,

Préparateur au Laboratoire de Recherches Physiques de la Sorbonne.

Principe de l'appareil. — Description. — Appareil d'étude; appareil commercial. — Fonctionnement du gaussmètre : couple agissant sur un cristal dans un champ magnétique uniforme. — Modes d'utilisation du gaussmètre : 1^{re} méthode, par observation de la déviation du cristal; 2^e méthode, par observation de la torsion du fil, le cristal étant maintenu dans la position du couple maximum. — Résultats expérimentaux obtenus par l'une et l'autre méthode. — Etude critique des qualités de l'appareil : sensibilité, précision. — Avantages du gaussmètre.

L'appareil présenté permet, par une simple lecture faite directement sur une graduation, de mesurer la valeur d'un champ magnétique en gauss.

PRINCIPE.

Il est fondé sur le principe suivant. Lorsqu'un cristal magnétiquement anisotrope, mobile autour d'un axe convenablement choisi, est placé dans un champ magnétique uniforme, il est soumis à un couple proportionnel au carré du champ qui tend à l'orienter.

On oppose, à ce couple, un couple antagoniste dû à la torsion d'un fil ou à un ressort spiral. Pour chaque valeur du champ, il y a une position d'équilibre déterminée.

(1) Communication présentée à la séance mensuelle de la Société le Samedi 2 Février 1929

DESCRIPTION DE L'APPAREIL.

1° *Appareil d'étude.* — J'ai utilisé tout d'abord un appareil (fig. 1) où le couple antagoniste était dû à la torsion d'un fil d'argent f qui

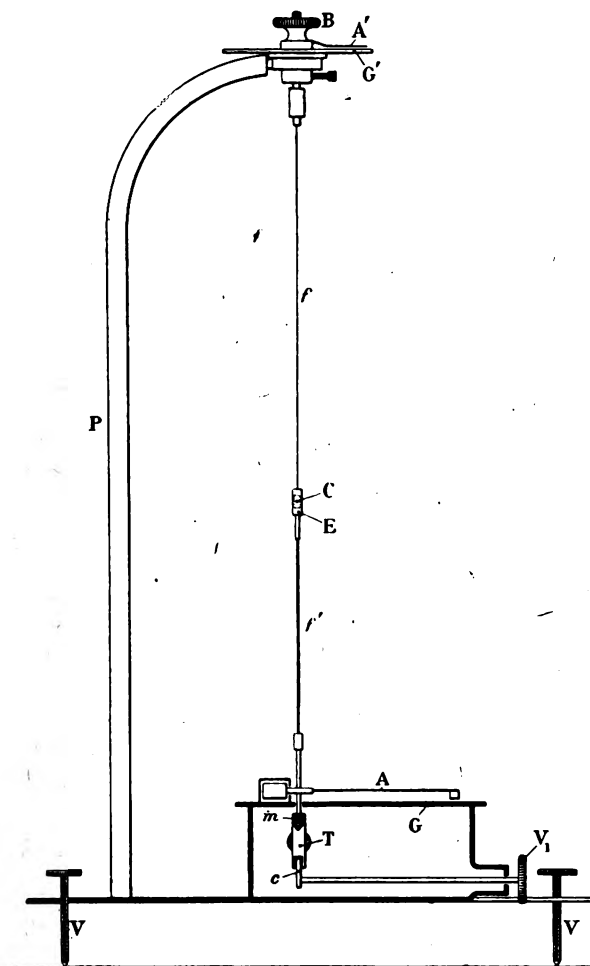


Fig. 1. — Appareil d'essai.

servait en même temps d'axe de suspension pour le cristal C. Celui-ci était placé dans un petit étui en laiton E fixé d'une part au fil f et réuni d'autre part à l'aiguille A mobile devant un cadran gradué G. Un poids tenseur, constitué par une petite masse de cuivre rouge m , fixe la verticalité de l'axe de rotation du cristal.

Une vis V_1 commande un petit excentrique c qui permet de

manœuvrer la tige T . Celle-ci, guidée dans son mouvement vertical de translation, soulève la masse m , libérant ainsi le fil de sa tension.

On peut communiquer au fil f des torsions connues, au moyen d'un bouton moleté B auquel il est invariablement lié. Les angles de torsion sont mesurés au moyen d'une aiguille A' solidaire de B , qui se déplace devant un second disque gradué G' .

Ce dispositif sert à repérer avant les mesures la direction des lignes de force et à régler convenablement la position initiale du cristal; il permet également, comme nous le verrons plus loin, une seconde méthode d'utilisation de l'appareil. On peut enfin, avec les trois vis calantes V , rendre verticale la potence P qui supporte tout l'équipage.

2° *Appareil type commercial.* — J'ai actuellement réalisé un appareil

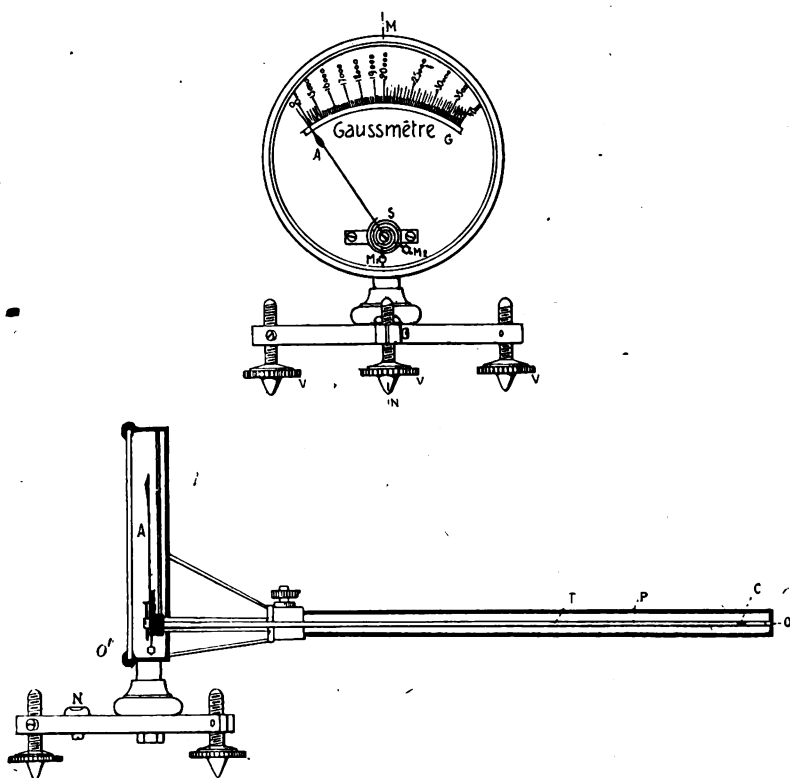


Fig. 2. — Appareil commercial (construit par Chauvin et Arnoux).

légèrement différent, sous une forme qui le rend plus robuste. C'est la maison Chauvin et Arnoux qui le construit et le livre dans le commerce (fig. 2).

Le cristal est fixé à l'intérieur d'un tube T portant deux crapaudines de saphir placées à chaque extrémité et mobile sur deux pointes coniques O, O'. La potence P, au bout de laquelle est fixé l'un des pivots O', se compose d'un simple tube de laiton sur la moitié duquel on a taillé un méplat, laissant apparaître à l'intérieur le tube T. L'épaisseur de ce méplat est telle que la potence, dans cette région, déborde légèrement de part et d'autre du tube T, assurant ainsi sa protection; elle est cependant assez faible (3 m/m environ) (1), pour que l'appareil puisse être utilisé dans la mesure des champs d'électro-aimants produits dans des entrefers étroits. Le tube T porte enfin une aiguille A, fixée sur lui par un collier de serrage et deux petites masselottes M₁ et M₂ permettent de placer le centre de gravité de l'équipage mobile sur l'axe de rotation O, O', en vue d'éviter toute action orientante due à la pesanteur. L'aiguille se déplace devant un cadran gradué G; dans sa rotation, elle entraîne le spiral S. L'appareil tout entier est supporté par trois vis calantes V et un niveau à bulle N permet de lui donner une orientation initiale déterminée.

L'appareil est étalonné dans des champs connus, mesurés en valeur absolue au moyen de la balance de Colton.

ETUDE THÉORIQUE DU FONCTIONNEMENT DU GAUSSMÈTRE.

J'ai utilisé jusqu'à présent comme cristal la *sidérose*; c'est du carbonate de fer (CO³Fe) que l'on trouve en grandes quantités à Allevard dans l'Isère. Ce cristal est *paramagnétique*; il appartient au système rhomboédrique et possède l'avantage d'avoir une anisotropie magnétique particulièrement marquée : ses deux coefficients principaux d'aimantation ont respectivement pour valeur : suivant l'axe ternaire $\chi_1 = 104,5 \times 10^{-6}$ et suivant une direction perpendiculaire à cet axe $\chi_2 = 56,6 \times 10^{-6}$ à la température de 16,7° C (2).

On peut cependant songer à utiliser d'autres substances : l'*oligiste* Fe₂O₃ est même préférable dans certains cas, à cause de l'allure toute particulière de la variation thermique de ses coefficients d'aimantation. D'une manière générale, tous les cristaux présentant une anisotropie magnétique, qu'ils soient para ou diamagnétiques, peuvent être employés. Mais, dans le cas des corps diamagnétiques, les couples

(1) On peut en ce moment, sans grande difficulté, descendre à 2 m/m.

(2) Ces nombres se rapportent au cristal brut, tel qu'on le trouve dans la nature.

orientants étant très faibles, on ne peut pas songer à utiliser ceux-ci pour des appareils d'un usage courant.

De toute façon, les cristaux doivent avoir une intensité d'aimantation moyenne faible, afin que leur introduction dans le champ magnétique ne fasse pas subir à celui-ci de déformation sensible et que le champ démagnétisant créé à l'intérieur du cristal puisse être considéré comme négligeable (1). En outre, pour que l'appareil soit fidèle, aucun phénomène d'hystérésis ne doit apparaître dans l'aimantation du cristal. C'est ce qui a lieu dans les champs actuellement utilisés, avec les cristaux dont je me sers.

*Expression du couple agissant sur un cristal
placé dans un champ magnétique uniforme d'intensité $\mathcal{H}$.*

La démonstration sera faite dans le cas où le cristal possède un axe principal de symétrie. (C'est précisément le cas des cristaux qui sont employés dans la construction du gaussmètre).

Soient trois axes rectangulaires $Oxyz$ (fig. 3) disposés de telle sorte

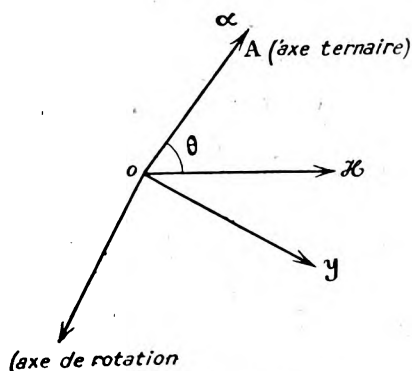


Fig. 3. — Couple exercé par un champ $\mathcal{H}$ sur un cristal d'axe OA.

que le champ $O\mathcal{H}$ se trouve dans le plan αOy et que l'axe ternaire OA du cristal se confonde avec Ox . Supposons que la rotation du cristal s'effectue autour de Oz . Le centre du cristal coïncide avec le point O.

(1) Dans le cas d'une sphère de sidérose placée de telle sorte que l'axe de plus forte aimantation coïncide avec les lignes de force, le champ démagnétisant est environ $\frac{1}{2000}$ du champ extérieur.

Dans ces conditions, si l'on désigne par κ_1 et κ_2 la susceptibilité magnétique du cristal suivant les directions Ox et Oy , l'énergie potentielle d'un petit élément de volume dv du cristal a pour expression :

$$w = \frac{1}{2} (\kappa_1 X^2 + \kappa_2 Y^2) dv,$$

X et Y étant les composantes du champ $\mathcal{H}$ le long de Ox et Oy (la composante $Z = 0$).

Appelons θ l'angle que fait l'axe ternaire du cristal avec $O\mathcal{H}$, on a alors :

$$X = \mathcal{H} \cos \theta$$

et

$$Y = \mathcal{H} \sin \theta$$

d'où :

$$w = \frac{1}{2} (\kappa_1 \cos^2 \theta + \kappa_2 \sin^2 \theta) \mathcal{H}^2 dv.$$

L'énergie potentielle du cristal tout entier, de volume v , est donc :

$$W = \frac{1}{2} \int \int \int (\kappa_1 \cos^2 \theta + \kappa_2 \sin^2 \theta) \mathcal{H}^2 dv,$$

l'intégrale étant étendue au volume tout entier v ; ce qui donne, puisque $\mathcal{H}$ est constant dans tout ce volume :

$$W = \frac{1}{2} v (\kappa_1 \cos^2 \theta + \kappa_2 \sin^2 \theta) \mathcal{H}^2.$$

Le moment du couple qui tend à faire varier l'angle θ , a donc pour expression :

$$\mathcal{M} = - \frac{\partial W}{\partial \theta} = \frac{1}{2} v (\kappa_1 - \kappa_2) \mathcal{H}^2 \sin 2\theta.$$

On a l'habitude d'introduire de préférence dans cette expression les coefficients principaux d'aimantation χ_1 et χ_2 rapportés à l'unité de masse et qui sont reliés aux susceptibilités κ_1 et κ_2 par les relations : $\kappa_1 = \chi_1 D$; $\kappa_2 = \chi_2 D$, D étant la densité du corps. D'où, en appelant m la masse du cristal :

$$(1) \quad \mathcal{M} = \frac{1}{2} m (\chi_1 - \chi_2) \mathcal{H}^2 \sin 2\theta.$$

Cette formule montre qu'il y a deux positions d'équilibre du cristal correspondant à $\mathcal{M} = 0$; ceci a lieu :

1° lorsque l'axe ternaire (de plus forte aimantation) est parallèle aux lignes de force ($\theta = 0$); cette position correspond à un équilibre stable : l'énergie potentielle du cristal par rapport au champ est minimum;

2°. lorsque l'axe ternaire est à 90° des lignes de force ($\theta = 90^\circ$); c'est la position d'équilibre instable : en effet, si l'on donne à θ deux valeurs très peu différentes $90^\circ + \varepsilon$ et $90^\circ - \varepsilon$, $\mathcal{M}$ change de signe et la rotation du cristal change de sens. Ceci fournit même un procédé très sûr pour repérer la direction des lignes de force du champ.

MODES D'UTILISATION DU GAUSSMÈTRE.

Le cristal est disposé de telle sorte que son axe ternaire soit perpendiculaire à l'axe de rotation de l'appareil. Si, dans ces conditions, m désigne la masse du cristal, θ l'angle que fait l'axe avec la direction du champ magnétique $\mathcal{H}$, l'expression du moment du couple qui agit sur le cristal est :

$$\mathcal{M} = \frac{1}{2} m(\chi_1 - \chi_2) \mathcal{H}^2 \sin 2\theta,$$

où $\chi_1 - \chi_2$ représente la différence des coefficients principaux d'aimantation du cristal. Cette expression montre que la direction seule du champ importe et non son sens ; il en résulte que l'appareil peut être utilisé pour la mesure de la valeur efficace des champs alternatifs, sous la réserve bien entendu que certaines conditions mécaniques se trouvent satisfaites.

Deux modes d'emploi du gaussmètre peuvent être envisagés, selon les cas ; nous allons les étudier successivement.

Première méthode. — Soit OA (fig. 4) la direction de l'axe ternaire

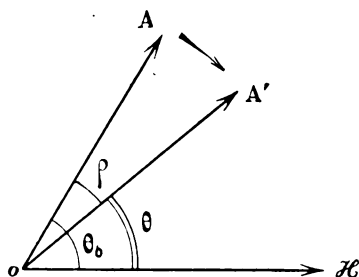


Fig. 4. — Déviation du cristal produite par le couple.

en l'absence de champ magnétique et $O\mathcal{H}$ la direction qu'aura le champ lorsqu'on l'établira. Nous désignons par θ_0 l'angle aigu de ces deux directions. Lorsque le champ agit sur le cristal, l'axe OA tourne d'un angle ρ jusqu'à sa nouvelle position d'équilibre OA' ; il fait alors

un angle : $\theta = \theta_0 - \rho$ avec les lignes de force. Dans ces conditions, écrivons que le moment du couple magnéto-cristallin, est égal au moment du couple de torsion ; cela donne :

$$(2) \quad \frac{1}{2} m'(\chi_1 - \chi_2) \mathcal{H}^2 \sin 2(\theta_0 - \rho) = C\rho,$$

C représentant la constante de torsion. Posons :

$$k = \frac{2C}{m' \mathcal{H}^2 (\chi_1 - \chi_2)},$$

la formule précédente s'écrit alors :

$$(3) \quad \sin 2(\theta_0 - \rho) = k\rho$$

La valeur de l'angle de rotation qui correspond à la nouvelle position d'équilibre du cristal, dans un champ magnétique donné $\mathcal{H}$, est donc celle qui satisfait à l'équation (3). Pour l'obtenir, on peut, par exemple, chercher le point d'intersection de la sinusoïde :

$$y_1 = \sin 2(\theta_0 - \rho)$$

avec la droite

$$y_2 = k\rho.$$

La figure 5 correspond à une solution du problème où l'on a pris

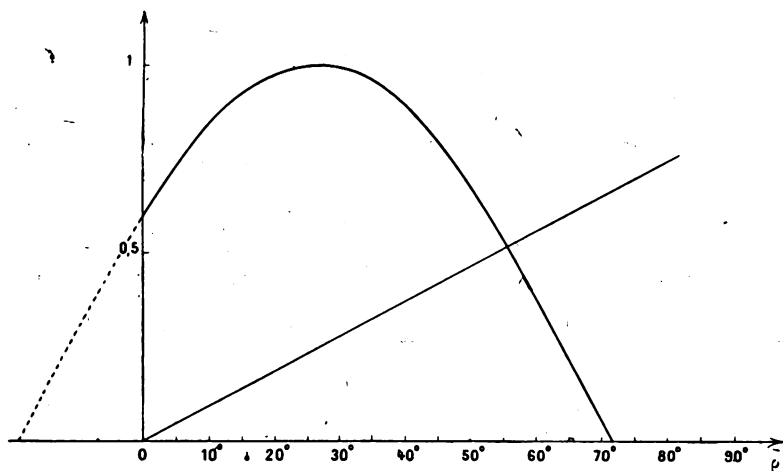


Fig. 5. — Détermination de la déviation par l'intersection de $y_1 = \sin 2(\theta_0 - \rho)$ et $y_2 = k\rho$.

$45^\circ < \theta_0 < 90^\circ$ et où l'on s'est donné pour k une valeur arbitraire. Elle montre clairement que l'angle de rotation ρ sera d'autant plus grand :

1° que la sinusoïde sera déplacée vers la droite (c'est-à-dire que θ_0 sera voisin de 90°) ;

2° que le coefficient angulaire de la droite sera plus petit (ceci

correspond à un spiral ou à un fil dont la constante de torsion est faible; ou bien à un champ magnétique intense).

Le fonctionnement de l'appareil peut être étudié dans toutes ses phases au moyen des courbes $\rho = f(\mathcal{H})$ qui représentent les variations de l'angle de rotation en fonction du champ magnétique appliqué au cristal. Ces courbes peuvent être déduites de la figure 5 point par point, car pour une rotation quelconque, le coefficient angulaire de la droite permet de connaître le champ $\mathcal{H}$ correspondant.

On peut tracer ainsi un faisceau de courbes (fig. 7) qui vont graduellement en se déformant lorsque l'angle θ_0 , qui caractérise la position initiale de l'axe du cristal par rapport aux lignes de force, diminue à partir de 90° .

Chacune de ces courbes tend asymptotiquement (pour un champ infini) vers la valeur $\rho = \theta_0$ qui correspond à la coïncidence de l'axe ternaire avec le champ, résultat évident *a priori*. (Cette position serait atteinte même dans un champ très faible si le cristal était suspendu par un fil sans torsion).

On voit aussi que ces courbes présentent un point d'inflexion qui se déplace progressivement du début de la courbe vers le milieu de celle-ci.

Remarques. — I. — Dans le cas où l'angle $\theta_0 = 90^\circ$ (fig. 6) la droite

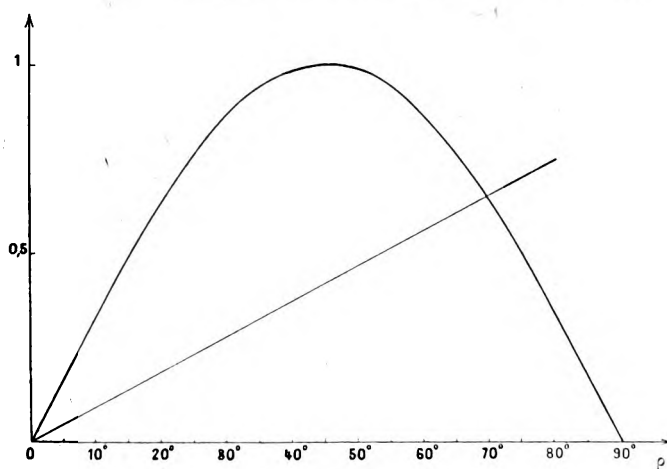


Fig. 6 — Cas où l'angle $\theta_0 = 90^\circ$.

ne coupe la courbe en un point différent de l'origine que si son coefficient angulaire est inférieur à 2; ce qui se traduit par l'inégalité :

$$\frac{2C}{m\mathcal{H}^2(\chi_1 - \chi_2)} \leq 2,$$

ou

$$\mathcal{H}^2 \geq \frac{C}{m(\chi_1 - \chi_2)}.$$

Posons :

$$\mathcal{H}_0^2 = \frac{C}{m(\chi_1 - \chi_2)},$$

Nous allons montrer que tant que le champ magnétique n'a pas atteint la valeur $\mathcal{H}_0$, le cristal ne tourne pas. Le cristal étant orienté avec son axe rigoureusement à 90° des lignes de force, faisons-le tour-

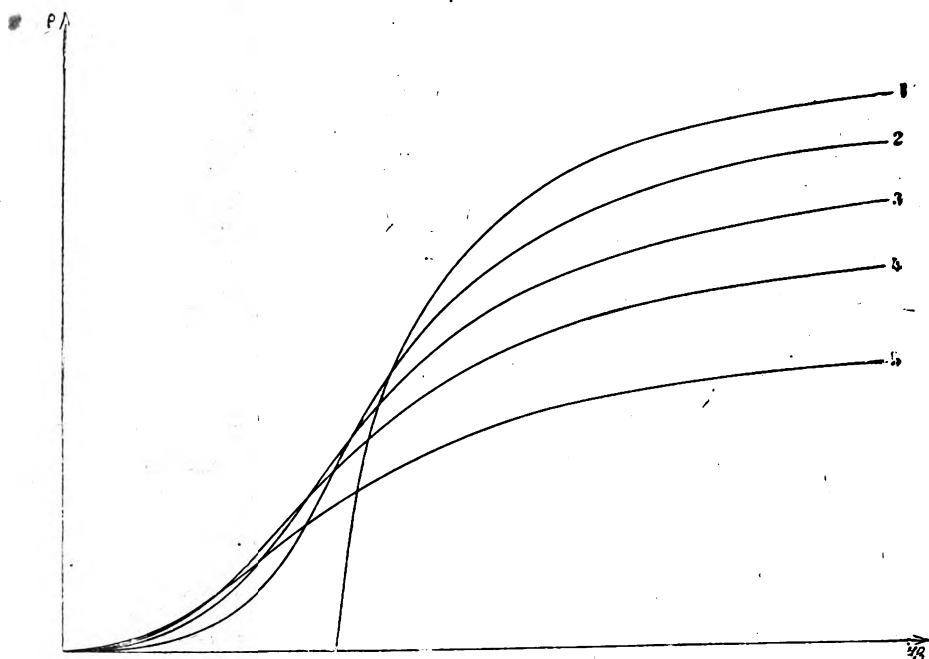


Fig. 7. — Courbes $\rho = f(\mathcal{H})$ pour diverses valeurs de θ_0 .

ner par la pensée d'un angle très petit $d\rho$ autour de l'axe de l'appareil. Le moment du couple magnétique qui lui est appliqué est, dans ces conditions, égal à :

$$\frac{1}{2} m\mathcal{H}^2(\chi_1 - \chi_2) \sin 2d\rho = m\mathcal{H}^2(\chi_1 - \chi_2)d\rho.$$

Le moment du couple de torsion a pour valeur $Cd\rho$ et tant que $\mathcal{H} < \mathcal{H}_0$, il l'emporte sur le précédent ; l'aiguille revient donc au zéro. Lorsque $\mathcal{H}$ devient supérieur à $\mathcal{H}_0$, le couple magnétique devient suffisant et le cristal pourra se mettre à tourner. Ce fait, assez curieux, est traduit par la courbe 1 de la figure 7, qui montre bien

une discontinuité de la rotation en fonction du champ. On pourrait utiliser cette remarque pour déceler les valeurs maxima ou minima de certains champs magnétiques.

Remarquons d'ailleurs, que si le cristal avait son axe rigoureusement à 90° des lignes de force, il ne tournerait pas, quelle que soit la valeur du champ, puisque le couple serait constamment nul. Mais en réalité, les trépidations accidentelles de l'appareil dérangent un peu le cristal et le couple au départ est toujours différent de zéro.

II. — En faisant $\theta_0 = 90^\circ$, on place le cristal dans une position d'équilibre instable. Pour peu qu'on le fasse tourner à droite ou à gauche, le champ magnétique l'entraîne dans un sens ou dans le sens opposé et ceci permet donc de régler avec une grande exactitude, la position initiale du cristal dans le champ.

Pratiquement, il faudra volontairement faire $\theta_0 = 90^\circ \pm \varepsilon$ en donnant à ε une valeur convenable, pour qu'on soit assuré que l'aiguille tourne toujours dans le sens voulu. Si ε vaut quelques degrés, le couple magnétique au départ possède une valeur différente de zéro et l'aiguille tourne franchement.

Deuxième méthode. — On peut également concevoir un autre mode d'utilisation de l'appareil, qui consiste à placer le cristal, dans toutes les mesures, de telle sorte que son axe soit à 45° des lignes de force du champ magnétique. Le couple qu'il subit alors dans un champ donné est maximum.

Voici pratiquement comment on fera. Le cristal étant orienté comme je viens de l'indiquer, on établit le champ magnétique. Celui-ci fait tourner le cristal dont l'axe tend à se placer parallèlement aux lignes de force. On ramène alors le cristal dans sa position initiale en tordant le spiral ou le fil de suspension en sens inverse. Ceci se fait en utilisant le bouton moleté B qui se trouve sur l'appareil (fig. 1). Lors de l'équilibre, les moments des deux couples sont égaux et l'on a :

$$\frac{1}{2} m \mathcal{H}^2 (\chi_1 - \chi_2) = C \varphi,$$

où φ désigne l'angle de torsion. La mesure de φ permet donc de connaître le champ et on peut placer sur l'appareil une seconde graduation correspondant à ce deuxième mode d'emploi (voir appareil à suspension par fil fig. 1).

Ainsi utilisé, l'appareil est évidemment moins commode, car la lecture du champ nécessite une petite manipulation ; aussi cette méthode

a-t-elle été laissée de côté dans la réalisation de l'appareil pour les mesures courantes. J'ai tenu néanmoins à la signaler car, comme on le verra plus loin, elle peut compléter de façon heureuse la première méthode et elle offre sur celle-ci quelques avantages appréciables. Des mesures ont été faites également par ce procédé avec l'appareil à fil et surtout dans des champs magnétiques relativement peu intenses, comme ceux donnés par des bons aimants.

Remarque. — L'angle de rotation ρ est fonction du carré du champ

$$\rho = \frac{1}{2} \frac{m(\chi_1 - \chi_2)}{C} \mathcal{H}^2.$$

La courbe $\rho = f \mathcal{H}$ est donc une parabole d'axe vertical tangente à l'origine à l'axe des $\mathcal{H}$.

Elle a une propriété remarquable à signaler : c'est l'enveloppe de la famille des courbes représentant le premier mode de fonctionnement de l'appareil (fig. 7).

Cette remarque m'a été suggérée tout d'abord, par la comparaison des courbes tracées expérimentalement dans les deux méthodes. Ceci peut être démontré en toute rigueur par le calcul et s'explique physiquement, puisque cette parabole est la courbe des moments magnétiques maxima dans un champ magnétique croissant et que, dans l'autre méthode, l'axe du cristal se trouve bien, à un moment donné, à 45° des lignes de force, quelle que soit la valeur de l'angle θ_0 .

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

J'ai vérifié expérimentalement, pour les deux méthodes, les résultats de l'étude théorique qui précède par des mesures faites avec l'un et l'autre des deux appareils décrits. La mesure des champs était faite, soit directement avec la balance de Cotton, soit au moyen d'un fluxmètre étalonné avec sa bobine exploratrice.

Dans ces mesures, les champs magnétiques étaient mesurés au $\frac{1}{100}$ près ; les rotations de l'aiguille, au quart de degré.

Pour la première méthode d'utilisation du Gaussmètre, j'ai tracé un faisceau de courbes (fig. 8) qui a exactement l'allure de celles qui ont été construites comme je l'ai indiqué plus haut (1). Chacune de ces courbes correspond à une valeur initiale de l'angle θ_0 que fait l'axe du cristal au départ avec le champ variant de 90° à 45°.

Le fil de torsion utilisé dans le premier appareil était en argent

(1) Voir page 356.

recuit par le passage d'un courant électrique pour éviter les résidus de torsion. Les dimensions étaient approximativement les suivantes : longueur 124 mm. ; diamètre $1/10^e$ de millimètre.

Les tableaux suivants contiennent les résultats des mesures : $\mathcal{H}$ désigne la valeur du champ magnétique en Gauss et ρ la rotation de l'aiguille en degrés.

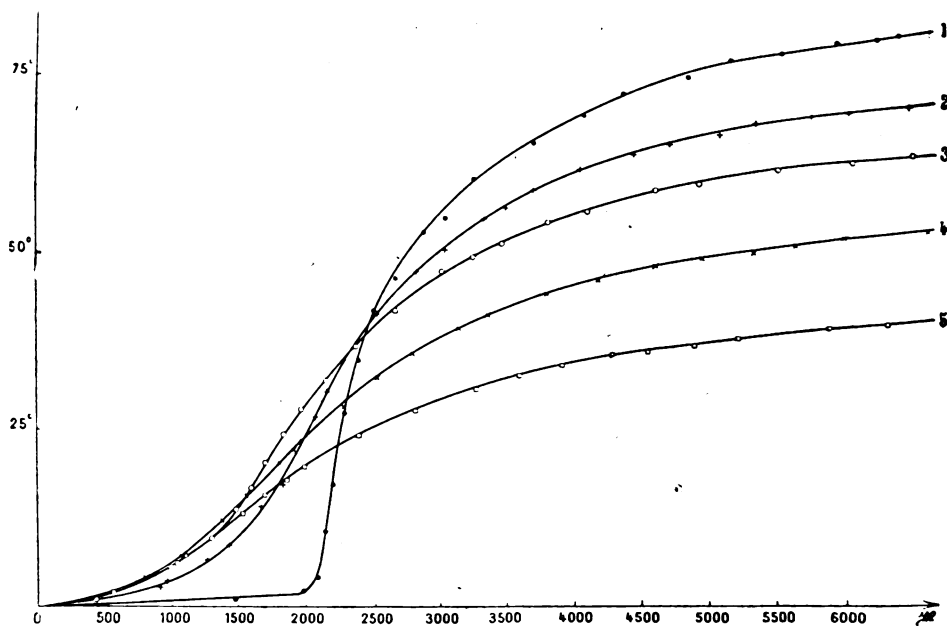


Fig. 8. — Courbes relevées expérimentalement par la 1^{re} méthode

I. — L'axe du cristal est initialement à 90° des lignes de [force : $\theta_0 = 90^\circ$.

$\mathcal{H}$	ρ	$\mathcal{H}$	ρ	$\mathcal{H}$	ρ
1468	1°	2483	41°5	4833	74°5
1976	2°	2643	46°	5153	77°
2029	2°5	2857	52°5	5554	78°
2083	4°	3017	54°5	5927	79°5
2136	10°5	3231	60°	6221	80°
2189	17°	3685	65°	6381	80°5
2269	27°	4058	69°		»
2376	34°5	4352	72°	»	»

La courbe correspondante est la courbe (1) de la figure 8.

II. — L'axe du cristal est à 80° des lignes de force dans la position initiale.

$\mathcal{C}$	ρ	$\mathcal{C}$	ρ	$\mathcal{C}$	ρ
908	$2^\circ 5'$	2269	$34^\circ 5'$	4699	65°
961	$3^\circ 5'$	2510	41°	5073	$66^\circ 5'$
1255	$6^\circ 5'$	2803	47°	5340	68°
1415	$8^\circ 5'$	3017	50°	5740	69°
1655	14°	3311	$54^\circ 5'$	6007	$69^\circ 5'$
1816	17°	3471	56°	6461	$70^\circ 5'$
1896	22°	3658	$58^\circ 5'$	6808	$71^\circ 5'$
2083	$26^\circ 5'$	4032	$61^\circ 5'$	»	»
2136	30°	4432	$63^\circ 5'$	»	»

La courbe représentative est la courbe (2) de la figure 8.

III. — L'axe est à 70° des lignes de force dans la position initiale.

$\mathcal{C}$	ρ	$\mathcal{C}$	ρ	$\mathcal{C}$	ρ
427	1°	1816	24°	3791	54°
561	2°	1949	$27^\circ 5'$	4085	$55^\circ 5'$
988	$5^\circ 5'$	2136	$31^\circ 5'$	4592	$58^\circ 5'$
1095	7°	2350	$36^\circ 5'$	4913	$59^\circ 5'$
1282	$9^\circ 5'$	2643	$41^\circ 5'$	5500	$61^\circ 5'$
1468	$13^\circ 5'$	2990	47°	6034	$62^\circ 5'$
1575	$16^\circ 5'$	3231	49°	6488	$63^\circ 5'$
1682	20°	3444	51°	»	»

La courbe (3), figure 8 correspond à ces mesures.

IV. — L'axe du cristal est initialement à 60° des lignes de force.

$\mathcal{C}$	ρ	$\mathcal{C}$	ρ	$\mathcal{C}$	ρ
427	1°	2269	28°	4592	48°
801	4°	2510	32°	4939	49°
1068	7°	2777	$35^\circ 5'$	5313	50°
1362	12°	3124	39°	5634	51°
1549	$15^\circ 5'$	3337	41°	5981	52°
1789	20°	3791	44°	6622	53°
1949	23°	4165	46°	»	»

Courbe (4), figure 8.

V. — L'axe du cristal fait un angle de 45° avec les lignes de force dans la position initiale.

$\mathcal{H}$	ρ	$\mathcal{H}$	ρ	$\mathcal{H}$	ρ
427	1°	1976	$19^\circ 5'$	4539	36°
561	2°	2376	24°	4886	37°
1015	6°	2803	$27^\circ 5'$	5206	38°
1282	$9^\circ 5'$	3337	$30^\circ 5'$	5874	39°
1521	13°	3578	$32^\circ 5'$	6301	40°
1682	$15^\circ 5'$	3898	34°	6808	$40^\circ 5'$
1842	$17^\circ 5'$	4272	$35^\circ 5'$	»	»

La courbe 5 de la figure 8 correspond à ce tableau..

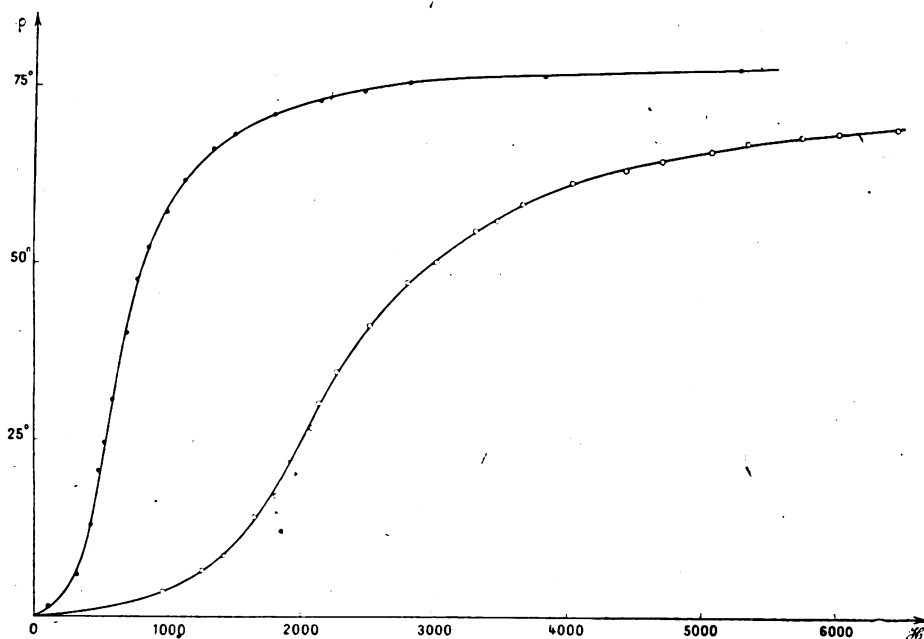


Fig. 9. — Modification de la courbe 2 (fig. 8) par la réduction du diamètre du fil de suspension.

Des mesures ont également été faites avec un fil de suspension plus fin, pour montrer les variations d'allure des courbes lorsqu'on change la constante de torsion du couple antagoniste. Dans ces expériences, le fil utilisé avait les dimensions suivantes : longueur 122 mm, diamètre $= \frac{5}{100}$ de mm. Une seule courbe a été tracée ; elle correspond au cas où le cristal est placé de telle sorte que son axe fasse un

angle de 80° avec les lignes de force. Elle doit donc être comparée à la courbe correspondante (2) de la figure 8. Pour faciliter cette comparaison, j'ai tracé les deux courbes sur le même graphique (fig. 9) ; on voit que le changement du couple antagoniste de l'appareil permet d'obtenir des courbes d'allure variée. Les résultats des expériences se trouvent inscrits dans le tableau ci-après.

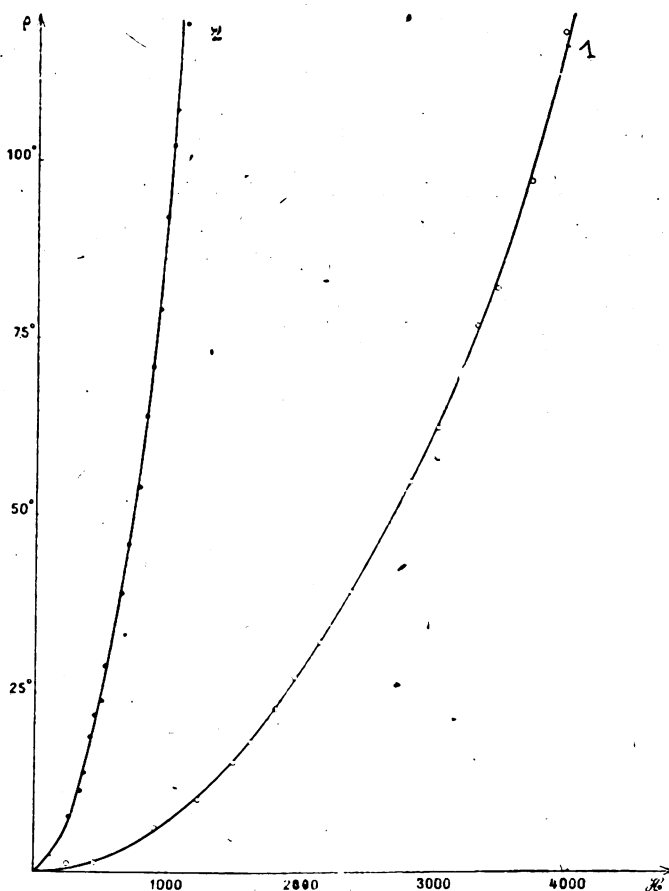


Fig. 10. — Courbe 1, relevée avec la 2^e méthode.
Courbe 2, relevée avec la 2^e méthode et un fil plus fin.

$\mathcal{C}$	ρ	$\mathcal{C}$	ρ	$\mathcal{C}$	ρ
107	1°5	774	47°5	2136	73°
320	6°	854	52°	2456	74°5
427	13°	988	57°	3070	76°
481	20°5	1121	61°5	3818	77°
534	24°5	1335	66°	5827	78°
587	30°5	1495	68°	"	"
694	40°	1789	71°	"	"

Au moyen de la deuxième méthode, j'ai obtenu avec le premier fil les résultats ci-dessous.

$\mathcal{H}$	ρ	$\mathcal{H}$	ρ	$\mathcal{H}$	ρ
454	1°5	1949	27°5	3471	82°
908	6°5	2136	32°5	3738	97°
1228	10°5	2376	39°5	4005	118°
1495	15°5	2803	55°5	4539	147°
1629	18°5	3017	62°5	5740	228°
1816	23°	3311	77°	»	»

La courbe correspondante (fig. 10) est bien une parabole ; elle montre que pour les champs les plus élevés, la rotation de l'aiguille croît très vite en fonction du champ. J'ai tracé également, pour la comparaison, la courbe correspondante (fig. 10) avec le second fil d'argent. Les nombres obtenus se trouvent dans le tableau ci-dessous :

$\mathcal{H}$	ρ	$\mathcal{H}$	ρ	$\mathcal{H}$	ρ
267	8°	534	29°	934	79°
320	11°5	641	39°	988	92°
374	14°	694	40°	1011	102°
427	19°	774	54°	1068	107°
454	22°	828	64°	1148	119°
507	24°	881	71°	»	»

La courbe 2 de la figure 10 représente les résultats de ce tableau.

ETUDE CRITIQUE DES QUALITÉS DE L'APPAREIL.

Ce qui précède montre que l'appareil peut être utilisé de façons assez différentes ; dans chaque cas, des avantages particuliers apparaissent et une discussion plus profonde de ses qualités va nous permettre d'avoir de meilleurs renseignements à ce sujet.

Nous avons vu que, lorsque le cristal peut tourner sous l'action du champ (1^{re} méthode), la position initiale de l'axe ternaire modifie très sensiblement les courbes $\rho = f(\mathcal{H})$ (fig. 8), et il en résulte que selon la valeur de l'angle θ_0 , déjà défini, l'allure de la graduation se trouvera profondément modifiée. Les schémas ci-dessous nous en donnent un

exemple trappant. J'ai représenté (fig. 11) les diverses graduations qui correspondent aux mesures faites avec l'appareil à fil de torsion,

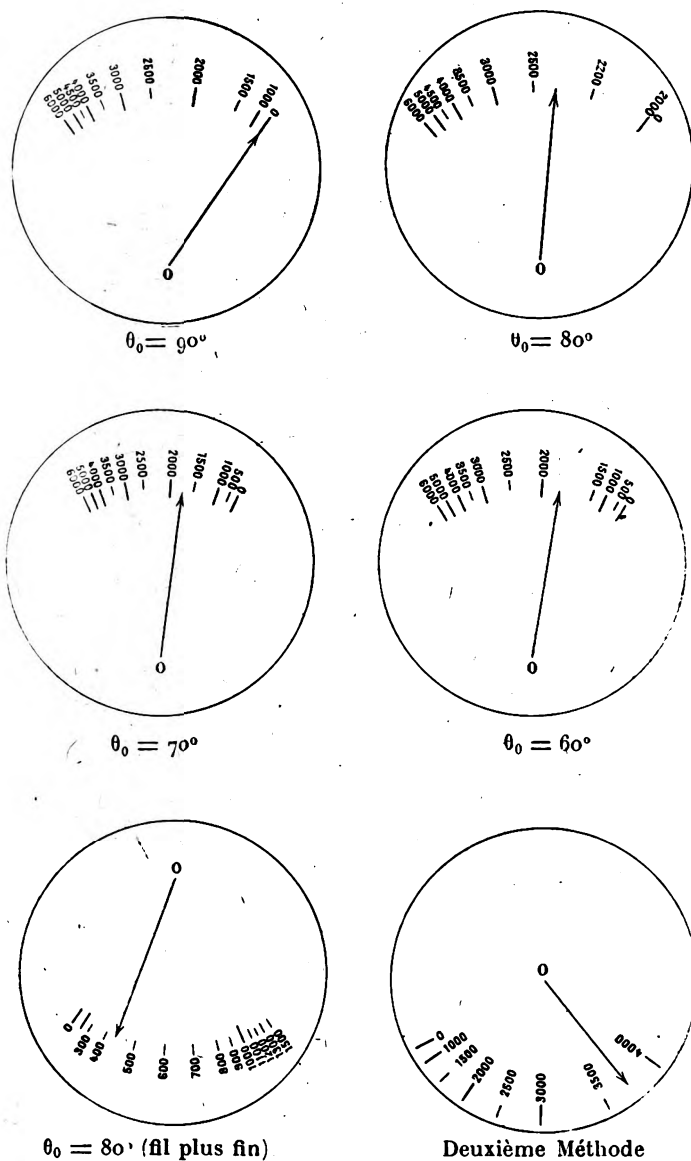


Fig. 11. — Graduons employées suivant l'angle initial de l'axe du cristal avec les lignes de force.

lorsque l'axe fait dans la position initiale des angles de 90° , 80° , 70° , et 60° avec les lignes de force. L'aspect de ces graduations change

notablement de l'une à l'autre (1). C'est le désir de développer une ou plusieurs qualités de l'appareil qui nous imposera des conditions précises de fonctionnement. Disons d'abord un mot de la sensibilité.

Sensibilité. — Pour la définir, désignons par ρ l'angle de rotation du cristal qui correspond à l'équilibre dans un champ $\mathcal{H}$. Lorsque celui-ci varie de $d\mathcal{H}$, ρ varie de $d\rho$ et la sensibilité est la limite du rapport :

$$S = \frac{d\rho}{d\mathcal{H}},$$

lorsque $d\mathcal{H}$ tend vers zéro. Il est donc clair, d'après la définition, qu'il y a une sensibilité donnée en *chaque point* de la graduation et qui n'est autre que la valeur correspondante du coefficient angulaire de la courbe $\rho = f(\mathcal{H})$ représentant les rotations en fonction du champ à mesurer.

Si cette courbe était une droite, la sensibilité S serait constante dans toute l'échelle : cela a lieu d'ailleurs dans beaucoup d'appareils de mesure.

Mais ici, elle présente un point d'inflexion qui correspond à un maximum de sensibilité de l'appareil (voir fig. 8). Faible au départ, la sensibilité croît ensuite, passe par le maximum et tend vers zéro lorsque le champ prend des valeurs très grandes. Ceci s'explique physiquement : tant que l'axe du cristal fait un angle supérieur à 45° avec les lignes de force du champ magnétique, si l'intensité de celui-ci augmente, $\sin 2(\theta_0 - \rho)$ croît également et le couple magnéto-cristallin qui est proportionnel à $\mathcal{H}^2 \sin 2(\theta_0 - \rho)$ croît par ces deux raisons. Ensuite, lorsque $\theta < 45^\circ$, si $\mathcal{H}$ augmente, la rotation s'accroît également, mais $\sin 2(\theta_0 - \rho)$ diminue; comme le couple antagoniste croît avec la rotation, pour une même variation de ρ , $\mathcal{H}$ doit augmenter beaucoup plus.

De l'allure du faisceau des courbes obtenues (fig. 8), il résulte immédiatement que, si l'on veut une grande sensibilité pour des mesures de champs magnétiques compris entre certaines limites, on pourra construire l'appareil en plaçant l'axe du cristal à 90° des lignes de force dans la position initiale. Le couple antagoniste étant convenable, on pourra s'arranger pour que les champs à mesurer correspondent à la partie très ascendante de la courbe. Dans la figure 8, on voit que

(1) Les deux dernières figures représentent : *en bas et à gauche* la graduation obtenue pour $\theta_0 = 80^\circ$ avec le fil de torsion de 0,05 mm de diamètre; *en bas et à droite* la graduation obtenue avec la deuxième méthode (fil de 0,1 de mm de diamètre).

l'appareil possède une très grande sensibilité pour les champs compris entre 2 000 et 3 000 gauss. Ceci pourrait être utilisé, par exemple, pour vérifier la constance d'un champ magnétique au cours d'une expérience assez longue ; des variations du champ magnétique, même très faibles, seraient ainsi décelées et il est possible, en adaptant un miroir sur le fil de torsion ou la tige mobile de l'appareil, d'obtenir une très grande précision dans une telle opération. Un enregistrement optique est même d'une application possible dans le cas d'expériences de très longue durée. C'est le cas par exemple des longues poses photographiques que l'on est parfois obligé de faire dans l'étude du phénomène de Zeeman, où la variation accidentelle du champ peut avoir des conséquences fâcheuses sur la pureté des raies dédoublées (1).

Pour étendre, au contraire, le champ des mesures faites avec le Gaussmètre, il vaut mieux diminuer un peu la sensibilité vers le milieu de la graduation, pour l'augmenter au début (fig. 11).

Ceci se fait en orientant différemment l'axe du cristal dans la position initiale.

Dans une série de mesures faites au moyen d'un appareil donné, il y a intérêt la plupart du temps à ce que la précision soit la même pour le début et la fin de la graduation : l'erreur relative est alors constante. C'est pourquoi, je ne crois pas que les appareils où la rotation de l'organe mobile est proportionnelle à la grandeur mesurée, soient l'idéal dans les mesures. Ces appareils ont, en effet, une *sensibilité constante* dans toute l'échelle ; mais *l'erreur relative* commise dans leur usage est beaucoup plus élevée pour le début que pour l'extrémité de la graduation.

Précision des mesures. — Dans la mesure d'un champ magnétique on peut définir cette erreur relative par :

$$\varepsilon = \frac{d\mathcal{C}}{\mathcal{C}},$$

$d\mathcal{C}$ étant la plus petite variation du champ observable, au moyen de l'appareil, autour de la valeur $\mathcal{C}$ du champ.

Dans le cas où la sensibilité est constante, $d\mathcal{C}$ est constant dans toute l'échelle ; il en résulte que ε varie en raison inverse de $\mathcal{C}$, comme je viens de l'indiquer.

(1) Je construis en ce moment sur ce principe un auto-régulateur de champ magnétique. Il est très facile en particulier de réaliser avec un cristal une auto-régulation du champ magnétique qui règne dans l'entrefer d'une machine.

Pour avoir une *erreur relative constante*, c'est-à-dire une précision toujours la même dans les mesures, la condition à satisfaire est la suivante. On peut transformer l'expression de ϵ en lui adjoignant celle de la sensibilité écrite plus haut, ce qui donne

$$\epsilon = \frac{d\rho}{S \cdot \mathcal{H}}$$

$d\rho$ est constant dans toute la graduation par un appareil donné (c'est la plus petite rotation observable de l'aiguille). Pour que ϵ fût constant, il faudrait donc que le produit $S \cdot \mathcal{H}$ le fût aussi ; d'où cette condition : *pour qu'un appareil de mesure à déplacement de l'organe mobile (1) donne la même précision dans toute son échelle, il faut que sa sensibilité varie en sens inverse de la grandeur mesurée.*

Dans ces conditions, les intervalles de la graduation, larges au début, se resserrent à la fin. C'est presque exactement ce que l'on peut réaliser avec le gaussmètre et ceci était intéressant à signaler.

Dans la deuxième méthode d'utilisation dont j'ai dit quelques mots, la sensibilité a une valeur tout à fait différente. On a vu que la rotation de l'aiguille est reliée au champ $\mathcal{H}$ par la relation

$$\rho = \frac{m(\gamma_1 - \gamma_2)}{2C} \mathcal{H}^2,$$

la sensibilité est alors égale à :

$$S = \frac{d\rho}{d\mathcal{H}} = \frac{m(\gamma_1 - \gamma_2)}{C} \mathcal{H}.$$

Cette formule montre que la sensibilité est proportionnelle au champ magnétique ; les divisions de la graduation s'écartent donc de plus en plus dans les champs forts, mais la sensibilité est nulle au départ dans les champs faibles. C'est beaucoup pour cette raison que la méthode en question a été rejetée et que l'appareil actuellement construit n'est pas basé sur ce principe.

En résumé : si les appareils à sensibilité constante ne me paraissent avoir *aucun avantage pratique*, je ne puis méconnaître, au contraire, un intérêt très marqué des appareils qui présentent dans certaines régions de leur graduation un maximum de sensibilité ; en effet, lorsqu'on utilise ceux-ci *comme appareils de repère dans la région où ils sont le plus sensible*, ils permettent de noter des variations même faibles de la grandeur mesurée. C'est le cas, par exemple, des appareils thermiques dans lesquels la sensibilité est une fonction crois-

(1) Les appareils de zéro sont exclus de notre discussion

sante du courant mesuré ; c'est aussi celui du gaussmètre utilisé selon la deuxième méthode.

Mais il vaut mieux que cette région de grande sensibilité se trouve au début plutôt qu'à la fin de la graduation, puisque, dans ces conditions, l'appareil de mesure présente le double avantage :

1° d'être un appareil de repère sensible ;

2° de fournir des mesures avec une erreur relative à peu près constante dans tout l'intervalle où on l'utilise.

En ce qui concerne l'amortissement, celui-ci est rendu très efficace par suite de la rotation du tube de laiton qui porte le cristal dans le champ magnétique où se fait la mesure.

Les courants de FOUCAULT qui prennent naissance dans la partie métallique mobile de l'appareil assurent un freinage énergique de celle-ci et l'amortissement critique est même souvent dépassé, ce qui constitue d'ailleurs plutôt un défaut.

L'inconvénient le plus sérieux dans l'usage du Gaussmètre, réside dans le fait que le couple d'orientation du cristal varie légèrement avec la température ambiante.

Cependant, l'étude des variations thermiques du couple magnétique agissant sur l'oligiste Fe_2O_3 montre que, pour ce cristal, le couple est une fonction croissante de la température, tandis que, pour la sidérose, il en est une fonction décroissante. Peut-être l'association de ces deux cristaux dans le même appareil permettra-t-elle d'obtenir la compensation désirée. Une autre solution, peut-être, du problème, consisterait à utiliser des spiraux antagonistes dont le couple de déformation soit une fonction décroissante de la température, le taux de variation étant à peu près le même que pour la sidérose. Ces essais sont en cours à l'heure actuelle.

AVANTAGES DU GAUSSMÈTRE.

Ce qui précède montre que le gaussmètre peut être utilisé avec profit dans la mesure des champs magnétiques, il présente, en effet, quelques avantages essentiels.

Tout d'abord, la *lecture directe* permet de faire des mesures très rapidement.

Placé dans un champ magnétique, le cristal donne à chaque instant la valeur de ce champ et permet au besoin d'enregistrer ses variations.

Le volume du cristal peut être rendu très petit (1) (une dizaine de millimètres cube en général) et ceci rend possible la *mesure, quasi ponctuelle du champ magnétique*. En particulier, l'appareil est précieux pour relever *la topographie exacte du champ magnétique donné par un électro-aimant*. Il a été utilisé dans ce but au cours des mesures faites à l'Office National des Inventions, à Bellevue, par M. Cotton, pour la mise au point du Grand Electro-aimant de l'Académie des Sciences (2).

Je pense que le gaussmètre pourra être utilisé avec profit dans la mesure des champs magnétiques donnés par les électro-aimants (électro-aimants de laboratoire et électro-aimants porteurs).

Il sera en outre très commode de déterminer, au moyen de cet appareil, la topographie des champs magnétiques produits *dans les entrefers des machines électriques, ainsi que dans le voisinage des cornes polaires*, et d'en tirer des données intéressantes sur la répartition des lignes de force dans les induits dentés. On aura ainsi une solution directe de ce problème, qui n'est en général résolu que par des voies laborieuses.

On peut également mesurer des champs moins intenses, comme ceux que l'on utilise pour le *soufflage des disjoncteurs*.

Enfin, les champs magnétiques des aimants de magnétos et des aimants servant à la construction des ampèremètres et des voltmètres à cadre mobile, sont également mesurés directement avec un type d'appareil spécialement construit dans ce but.

En terminant, j'indique qu'il est possible de donner, dans chaque cas, une solution particulière aux nombreux problèmes dans lesquels intervient le champ magnétique.

(1) Dans un appareil utilisé à Bellevue il a pu être réduit à 2 mm³.

(2) Voir A. COTTON et G. MABBOUX, *Recherches et Inventions*, n° 172, décembre 1928, p. 453.

LE TAXIPHONE ⁽¹⁾

Poste téléphonique à prépaiement

par M. de la MORICIÈRE.

Principe : 1° Poste à deux boutons ; 2° Poste sans bouton, pour bureau automatique, pour bureau manuel, pour communication à taxe double.

Un poste téléphonique à prépaiement est un poste téléphonique accessible à une clientèle étendue et permettant d'obtenir une communication téléphonique à la condition d'introduire au préalable dans une fente de l'appareil les pièces de monnaie ou le jeton correspondant au montant de la taxe.

Certains postes à prépaiement sont installés sur la voie publique, dans les gares, dans les bureaux de postes par les soins des Municipalités ou de l'Administration des Téléphones, ils reçoivent alors des pièces de monnaie; d'autres postes à prépaiement sont installés chez certains abonnés (cafés, hôtels, immeubles) qui mettent leur poste téléphonique à la disposition de leurs clients et qui désirent être débarrassés de tout souci de comptabilité : les appareils de ce genre fonctionnent en général au moyen de jetons.

Nous nous proposons de décrire sommairement deux types de postes à prépaiement pour réseaux téléphoniques à batterie centrale, étudiés et réalisés par la Société Le Taxiphone.

1° Poste taxiphone à deux boutons.

Nous supposerons le poste rattaché à un bureau manuel.

Rappelons ce que sont, dans un tel cas, les différentes phases d'une mise en communication pour un poste téléphonique ordinaire : (Fig. 1).

L'abonné demandeur décroche et, par cette manœuvre, il ferme à travers son relais d'appel APR et à travers son poste le circuit de la batterie centrale (le pôle positif de cette batterie est mis à la terre). Le relais APR fonctionne, la lampe d'appel APL s'allume et la téléphoniste du bureau central répond en plaçant la fiche de réponse d'un di-

(1) Communication présentée à la Séance du 11 Janvier 1929 de la 5^e Section.

corde dans le jack de l'abonné demandeur (cette manœuvre provoque le fonctionnement du relais de coupure COR et isole le relais d'appel APR; à partir de ce moment, la ligne du demandeur est alimentée par

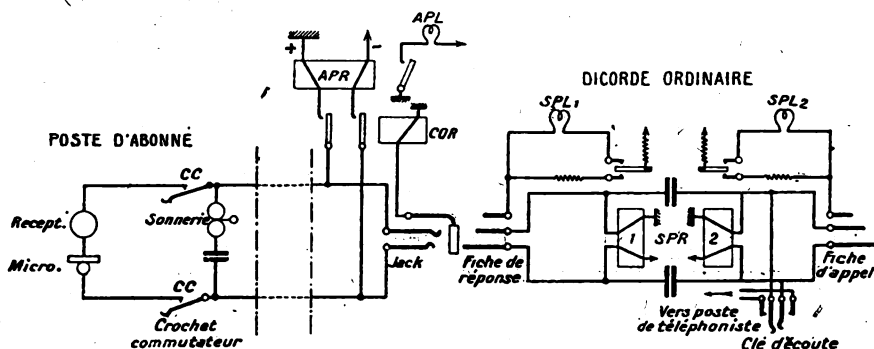


Fig. 1. — Schéma des connexions d'un poste téléphonique ordinaire.

le relais de supervision SPR_1), et en abaissant la clé d'écoute du dicorde : elle donne suite à la demande en établissant avec la fiche d'appel la liaison avec l'abonné demandé. — A la réponse de ce dernier, le relais de supervision SPR_2 est actionné.

A la fin de la communication, les deux abonnés raccrochent, les armatures des deux relais SPR_1 et SPR_2 reviennent au repos et allument alors les lampes de supervision : SPL_1 et SPL_2 , la téléphoniste ainsi prévenue libère les fiches du dicorde. — Au cas où l'abonné demandé n'est pas libre ou ne répond pas, le relais de supervision SPR_2 n'est pas actionné. La communication n'est taxée que si le demandé répond. Lorsque la téléphoniste donne par erreur un faux numéro, le demandeur agite le crochet commutateur de son poste à une cadence lente; il provoque ainsi des allumages rythmés de la lampe de supervision SPL_1 : la téléphoniste rentre en écoute et rectifie son erreur.

Dans le cas du poste Taxiphone (Fig. 2 et 2 bis) le décrochage ne suffit pas à provoquer l'appel au Bureau Central : la terre normalement placée à l'extrémité d'un des enroulements des relais d'appel est en effet supprimée. Le relais d'appel ne peut fonctionner que si l'usager décroche et introduit en outre un jeton dans l'appareil; l'introduction du jeton dans la fente *ab* déplace la goupille C_1 solidaire du secteur C qui pivote autour de l'axe C_0 , ouvre le contact 1 et ferme le contact 2. Le jeton, conduit par la glissière fixe *d* vient tomber dans la glissière

mobile e_1 , portée par le pendule e pivotant autour de l'axe e_0 , le jeton est retenu à la partie inférieure de la glissière mobile par une tige horizontale f_1 portée à une extrémité du fléau f mobile autour de l'axe f_0 et chargé à son autre extrémité par la masse f_2 . Le poids du jeton fait basculer le fléau qui ferme le contact T_3 , ouvert au repos.

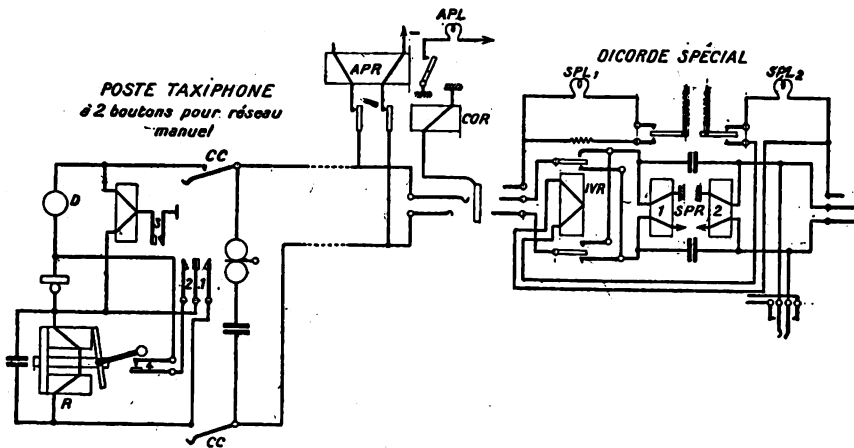


Fig. 2. — Schéma des connexions d'un poste taxiphone à deux boutons pour réseau manuel.

Le jeton ainsi parvenu en position de préencaissement ne peut abandonner cette situation provisoire que si le pendule e est déplacé dans un sens ou dans l'autre ; suivant le sens de ce déplacement, le jeton tombera à gauche dans la caisse ou à droite dans la sébille de remboursement.

La fermeture du contact 3 place une terre au milieu de l'enroulement de la bobine différentielle D et le relais d'appel fonctionne au bureau central. La téléphoniste répond en utilisant un dicorde spécial (affecté au service des postes à prépaiement) et en abaissant la clé d'écoute de ce dicorde. Pendant l'appel et la conversation avec la téléphoniste, le sens de la tension appliquée à la ligne du Taxiphone est le même que sur une ligne d'abonné ordinaire ; ce sens est tel que le relais polarisé R du Taxiphone, reste au repos. La présence de ce relais sur le circuit de conversation entre le demandeur et la téléphoniste n'introduit pas une perte de transmission excessive, car le relais a son impédance apparente pour les circuits de conversation considérablement réduite par le condensateur de $2\mu F$ qui le shunte. Le dicorde spécial utilisé comporte, du côté du demandé, un relais de supervision

SPR₂ qui commande un relais d'inversion IVR — ce dernier permute les pôles de la batterie appliquée à la ligne du Taxiphone, à partir du moment où, le demandé ayant répondu, le relais SPR₂ est actionné; le sens du courant qui parcourt le relais polarisé R du Taxiphone est alors inversé, ce relais fonctionne et son armature met en court-cir-

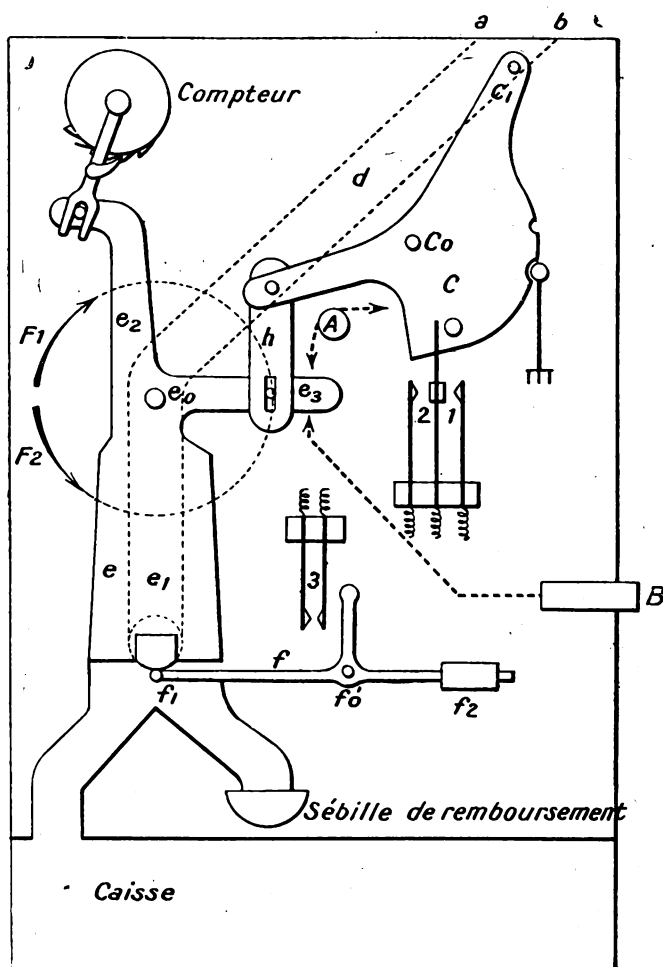


Fig. 2 bis. — Schéma d'un poste taxiphone à deux boutons.

cuit en 4 le microphone du demandeur; ce dernier doit alors actionner le bouton A de l'appareil, manœuvre qui, d'une part, fait basculer le pendule *e* dans le sens indiqué par la flèche *F*₁, et d'autre part fait pivoter le secteur C autour de l'axe *C*₀ dans le sens indiqué par la flèche *F*₂; le déplacement du pendule fait tomber le jeton dans la caisse, le fléau *f* débarrassé de la surcharge du jeton, reprend sa position de re-

pos; le contact 3 s'ouvre, ce qui supprime la terre utilisée pour l'appel — le déplacement du secteur C a pour effet d'ouvrir le contact 2, ce qui rompt le court-circuit du microphone, et de fermer le contact 1, ce qui élimine le relais polarisé R du circuit de conversation. La bobine de self inductance D reste en circuit, mais son impédance est très grande et elle n'introduit pas un affaiblissement notable — le déplacement du pendule e commande par le bras e_2 le fonctionnement du compteur qui enregistre une unité.

A la fin de la conversation, l'usager raccroche et donne ainsi le signal de fin à la téléphoniste du bureau central. En cas de faux numéro, le demandeur rappelle la téléphoniste sur lampe de supervision en agitant le crochet commutateur du poste.

En cas de non-réponse ou d'occupation, le demandeur actionne le bouton de remboursement B : ce bouton, par l'intermédiaire d'un levier, fait pivoter le pendule e dans le sens de la flèche F_2 , le jeton déporté vers la droite, tombe dans la sébille de remboursement. La position du secteur C n'est pas modifiée par l'enfoncement du bouton B (la goupille e_3 couissant alors librement dans un évidement de bras h) et le contact 2 demeure fermé.

Le poste Taxiphone peut recevoir des appels comme un poste ordinaire : lorsque la sonnerie du poste retentit, le préposé décroche et peut entrer en conversation avec le demandeur. En effet, le poste Taxiphone est alors alimenté par la batterie centrale du bureau dans les conditions normales et le relais polarisé R n'est pas actionné — le court-circuit du microphone est donc interrompu soit aux deux points 4 et 2, si la communication présente a donné lieu à encaissement, soit au seul point 4, si la communication présente a donné lieu à remboursement.

La fente qui reçoit les jetons et la glissière qui les guide sont munies de dispositifs empêchant l'admission ou provoquant le remboursement des faux jetons n'ayant pas toutes les caractéristiques des jetons normaux. L'appareil est d'ailleurs complété par divers agencements empêchant toute fausse manœuvre et interdisant toute fraude.

2° Poste taxiphone sans bouton :

Le poste Taxiphone que nous venons de décrire oblige l'usager à des manœuvres de boutons que donnent lieu quelquefois à des confusions et à des erreurs; la Société Le Taxiphone a étudié et mis au point un poste à prépaiement dont le mode d'emploi ne diffère pas du mode d'emploi d'un poste d'abonné ordinaire, si l'on excepte bien entendu l'introduction préalable du jeton.

Pour décrire le fonctionnement de cet appareil qui ne comporte plus aucun bouton, nous supposons que le bureau central est un bureau automatique.

Rappelons, brièvement, de quelle façon est établie, dans le cas d'un bureau automatique, une communication demandée par un poste d'abonné ordinaire.

L'abonné décroche ce qui ferme le circuit de la batterie centrale sur son relais d'appel : la ligne de l'abonné est alors mise en relation avec les organes de sélection et éventuellement les organes d'enregistrement du bureau; lorsque ces organes sont en état de recevoir les impulsions d'appel, le demandeur reçoit dans son récepteur, le signal de numérotage et il compose sur son cadran d'appel le numéro de son correspondant.

Pendant cette première partie de la mise en communication, la tension appliquée à la ligne du demandeur a un sens déterminé : lorsque le demandé répond, les relais du bureau automatique jouent le rôle analogue au relais de supervision SPR_2 du bureau manuel et produisent une inversion du sens de la tension appliquée à la ligne du demandeur. Le compteur de ce dernier ne fonctionne que si le demandé répond.

A la fin de la communication, le raccrochage des deux correspondants libère les organes du bureau. En cas d'occupation ou de non-réponse, le demandeur perçoit des signaux avertisseurs et il raccroche sans que sa ligne ait cessé d'être alimentée sous une tension de sens uniforme.

Le Taxiphone à deux boutons nécessitait une légère modification de l'équipement du relais d'appel au bureau central. Avec le Taxiphone sans bouton (fig. 3 et 3 bis) le relais d'appel conserve son équipement normal — l'usager décroche et introduit le jeton dans l'appareil. Le jeton vient heurter l'extrémité du fléau, à la base de la glissière mobile portée par le pendule : sous l'action du choc, le fléau dégage, par l'intermédiaire du bras n , le ressort T engagé sous le bec du cliquet p (le contact 1 se ferme); en outre le jeton est maintenu à l'extrémité du fléau qui, chargé par son poids, ouvre le contact 2, décourtcircuitant ainsi les ressorts d'impulsion RI du cadran d'appel.

Au repos, lorsque le crochet commutateur porte le combiné, le pendule est maintenu écarté vers la droite, — libéré par le crochet commutateur, le pendule sous l'action de la pesanteur se déplace dans le sens de la flèche F_1 mais il est arrêté dans sa course par deux cliquets j_1 et k_1 .

Dès que la boucle de la ligne est réalisée par la fermeture du con-

tact 1, le relais-moteur R est parcouru par un courant; ce relais-moteur à son enroulement porté par une armature l mobile autour d'un axe l_0 et placée dans le champ d'un aimant m . Au repos l'armature occupe la position indiquée sur la figure; dès que l'enroulement est parcouru par un courant, l'armature pivote dans un sens déterminé (le sens indiqué par la flèche F_1 par ex.) et le taquet vient heurter le cliquet k , ce qui dégage la butée 1_s du pendule en prise avec ce cliquet. Le pendule reste néanmoins bloqué par le cliquet j_1 .

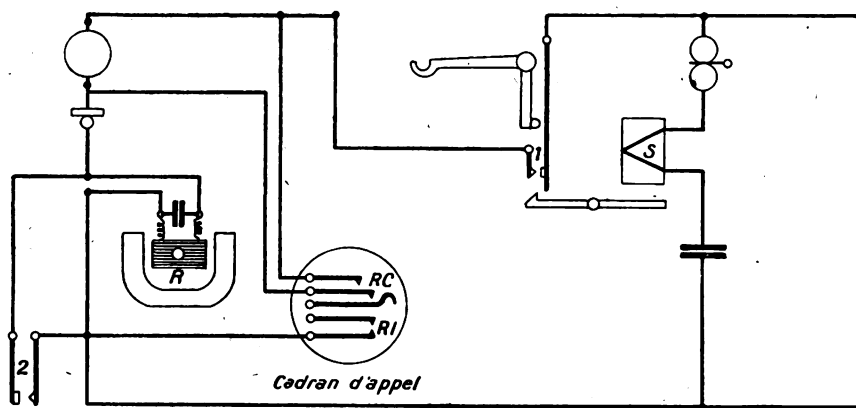


Fig. 3. — Poste taxiphone sans bouton pour réseau automatique.

Dès que l'usager perçoit le signal de numérotage, il actionne le cadran d'appel (pendant l'envoi de chaque train d'impulsions, les 3 ressorts de commutation RC du cadran sont fermés et court-circuitent le récepteur, le microphone et le relais-moteur R).

Si le demandé répond, le courant qui parcourt le relais R est inversé : l'armature du relais pivote dans le sens de la flèche F_2 et le taquet heurtant le cliquet j dégage la seconde butée 1_6 du pendule en prise avec le bec de ce second cliquet. Le pendule est libéré et se déplace vers la gauche : la pièce tombe dans la caisse; le fléau revient au repos et courtcircuit en 2 le relais R et les ressorts d'impulsions du cadran. — Le déplacement du pendule provoque comme dans le cas du Taxiphone à deux boutons, le fonctionnement du compteur. — A la fin de la communication, le raccrochage ramène le pendule vers la droite, le ressort T est de nouveau verrouillé ce qui rompt la boucle de la ligne et provoque la libération des organes du bureau. L'enroulement du relais R n'étant plus parcouru par aucun courant, l'armature l est ramenée au repos par les bras j_2 et k_2 solidaires des cliquets j et k (ces

On a vu que la libération du pendule se produit en deux temps : les deux sens de la tension appliquée à la ligne peuvent se succéder dans un ordre quelconque.

L'encaissement est bien produit par l'inversion de batterie, mais le fonctionnement correct de l'appareil n'exige pas qu'aux différents moments de la mise en communication, la tension appliquée à la ligne ait un sens fixé à l'avance. L'appareil reste donc utilisable au cas où les deux fils de ligne viennent à être permutés.

Le Taxiphone sans bouton peut également être rattaché à un bureau manuel, moyennant quelques modifications de détail : l'armature du relais polarisé entraîne par un jeu d'engrenages un moulinet à ailettes qui freine les mouvements de l'armature; le taquet de l'armature ne vient donc agir sur le second cliquet de verrouillage du pendule que si l'inversion du courant se prolonge pendant plusieurs secondes. — Ainsi les inversions fugitives de courant qui se produisent inévitablement sur la ligne du Taxiphone, par exemple, à l'enfoncement de la fiche d'appel dans le jack du demandé, ne peuvent pas provoquer des encaissements intempestifs.

Pour les deux postes à prépaiement que nous venons de décrire, nous avons considéré le cas de communications échangées entre des postes rattachés au même réseau urbain; en fait on peut demander avec un poste Taxiphone une communication pour la banlieue (communication à taxe double); l'usager est alors aiguillé sur une téléphoniste spéciale qui l'invite à introduire dans l'appareil un second jeton. Ce jeton heurte un timbre dont les vibrations sont transmises à la téléphoniste par un microphone auxiliaire; les deux jetons restent en position de préencaissement et (la réponse s'accompagne d'une inversion de batterie), ils sont encaissés si le demandé répond, ou remboursés dans le cas contraire. Dans le premier cas, le compteur du Taxiphone sans bouton enregistre deux unités comme le compteur du bureau de l'Etat.

Dans certains réseaux automatiques français, la réponse du demandé ne s'accompagne pas d'une inversion de batterie sur la ligne du demandeur : les postes décrits ci-dessus sont donc inutilisables. La Société Le Taxiphone a étudié un appareil sans bouton dans lequel le déverrouillage du pendule et l'encaissement sont provoqués, en fin de conversation, par le fonctionnement d'un relais actionné par une impulsion de courant alternatif qu'envoie, sur l'un des fils (avec retour par le sol), le compteur du bureau de l'Etat.

Dans le Taxiphone à deux boutons aussi bien que dans le Taxiphone sans boutons, l'énergie nécessaire pour le fonctionnement de l'appareil est fournie par l'usager : mais elle est fournie d'une façon plus simple dans le cas de Taxiphone sans bouton, puisque c'est au raccrochage du combiné que toute l'énergie nécessaire au développement correct de la communication qui doit suivre, se trouve emmagasinée par le pendule de l'appareil.

Les manœuvres que doit effectuer l'usager sont ainsi simplifiées à l'extrême et l'effort qui lui est demandé est également très réduit.

LES REDRESSEURS DE COURANTS ALTERNATIFS ⁽¹⁾

par M. Alfred SOULIER.

Classification des redresseurs. — Soupapes électrolytiques. — Rappel des travaux de Pollak et de Nodon — Soupapes à gaz raréfiés : de Villard; au néon. — Soupapes à arc électrique : à vapeur de mercure; à arc à l'air libre Murphy, Toulon. — Soupapes à filament chauffé : à vide; à argon (Tungar). — Soupapes électroniques : colloïd d'André, sulfotron Radio L. L; rectox. — Redresseurs mécaniques.

Le problème du redressement des courants alternatifs est fort ancien et remonte à l'origine même de la production des courants par les phénomènes d'induction. C'est, en effet, peu après la découverte de Faraday, au moment où apparurent les premières machines magnéto-électriques de Pixii et de Clarke, qui n'étaient autres que des alternateurs, que l'on songea à convertir, si ce n'est en courant vraiment continu, du moins en courants de même sens, les courants alternatifs fournis par ces machines. On adapta alors sur les induits des commutateurs à coquilles qui furent en somme les premiers redresseurs de courant.

Plus tard Gramme, en reliant les différentes bobines de son anneau aux lames d'un collecteur, obtint un courant moins ondulateur qui donna au courant continu ainsi produit une vogue bien connue en lui permettant de s'adapter à une foule d'applications. La réalisation du premier transformateur industriel par Gaulard devait, avec l'application des courants polyphasés, donner un essor nouveau aux courants alternatifs. Peu à peu, les distributions d'énergie électrique par courants polyphasés se multiplièrent et c'est alors que se posa la transformation, en quelque sorte, à domicile, de ces courants en courant continu.

Ici nous touchons au but de cette communication qui est de donner un aperçu sur les recherches effectuées dans tous les domaines pour obtenir facilement le redressement des courants alternatifs industriels. On pourrait décrire ces appareils dans l'ordre chronologique, mais les

(1) Communication présentée en séance mensuelle de la Société française des électriciens le 5 janvier 1929.

divers systèmes seraient enchevêtrés et il paraît préférable de les classer d'après les principes mêmes sur lesquels ils sont basés en notant, dans chaque classe, les types les plus intéressants ou ceux qui ont reçu des applications plus ou moins durables.

CLASSIFICATION DES REDRESSEURS. — On peut classer les redresseurs ou plusieurs catégories suivant les principes auxquels ils se rattachent :

- 1° Soupapes électrolytiques ;
- 2° Soupapes à gaz raréfiés ;
- 3° — à arc électrique ;
- 4° — à filament incandescent ;
- 5° — électroniques ;
- 6° Les appareils mécaniques qui se divisent eux-mêmes en redresseurs vibrants et en redresseurs tournants.

SOUPAPES ÉLECTROLYTIQUES.

Ces appareils sont très anciens ; ils reposent sur une propriété découverte par Buff en 1857 sur l'aluminium, ce métal ne laissant pas passer le courant, dans une cuve électrolytique convenable, lorsqu'il est relié au pôle positif d'une source et au contraire laissant un libre passage lorsqu'il est négatif. Une étude très complète sur ces appareils a paru dans le Bulletin de la Société des Electriciens du 3 juillet 1901, p. 323 à 338. MM. Pollak et Nodon créèrent à l'époque une série d'appareils devenus historiques, car d'autres procédés présentant un meilleur rendement ont été trouvés depuis.

Au sujet de ces appareils, une difficulté de fonctionnement s'est présentée autrefois et semble avoir disparu aujourd'hui. MM. Pollak et Nodon, etc., avaient remarqué et signalé dans leurs communications, que la température de l'électrolyte ne devait pas dépasser 40 à 50° C faute de quoi l'effet de soupape disparaissait et le courant alternatif circulait librement.

Ce phénomène paraît tenir à ce que l'on n'avait pas, à cette époque, de l'aluminium suffisamment pur, tandis qu'aujourd'hui les progrès de la métallurgie permettent d'avoir de l'aluminium à un degré de pureté remarquable pouvant atteindre 99,5 pour cent. A l'appui de cette observation, M. Soulier réalise devant la Société l'expérience suivante (fig. 1).

Une lame d'aluminium *pur* plonge avec une électrode de charbon dans une solution de borate de sodium également pure. On relie la cuve électrolytique ainsi constituée à une source de courants alter-

natifs de fréquence industrielle en interposant un rhéostat et deux ampèremètres : l'un à cadre mobile donnant I_{moyen} et l'autre à fer doux donnant I_{eff} .

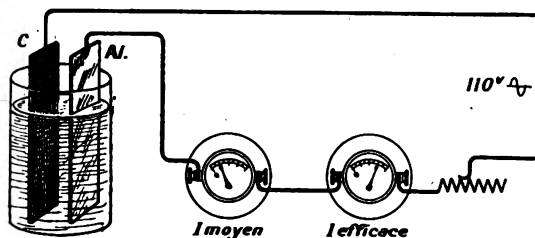


Fig. 1. — Montage mettant en évidence l'influence des conditions de fonctionnement sur la marche d'un redresseur électrolytique.

Dès que le courant passe on constate que l'aiguille de l'ampèremètre marquant I_{eff} dévie assez fortement, tandis que l'aiguille de l'appareil à cadre mobile dévie à peine, puis, peu à peu, cette dernière accuse des chiffres de plus en plus élevés, tandis que I_{eff} baisse légèrement. Ce phénomène correspond à la période de formation de la couche d'oxyde sur l'aluminium.

Peu à peu, les indications se stabilisent et le rapport des déviations tend vers la valeur $\frac{I_{\text{moyen}}}{I_{\text{eff}}} = 0,6$ environ. Si on laisse l'appareil fonctionner quelque temps, la température du liquide s'élève; c'est à partir de 40°C que l'on constatait autrefois la diminution de courant redressé et l'annulation presque complète de la déviation de l'appareil à cadre mobile, lorsque la température atteignait 60°C .

Laissant la température monter jusqu'à 100°C , M. Soulier montre qu'en pleine ébullition de l'électrolyte, le redressement existe encore avec un rendement très satisfaisant, puisque le rapport des indications des deux appareils atteint 0,5 à cet instant. Cette expérience avait surtout pour objet de montrer combien les conditions de marche d'un système électrolytique peuvent se trouver changées avec des produits purs.

Passant ensuite en revue les montages de soupapes en pont, suivant le schéma de Léo Graetz ou avec transformateur à point milieu (montage de Churcher), M. Soulier montre comment tout récemment, avec le tantale ou du silicium plongeant dans de l'eau acidulée sulfurique à 25° Baumé, on a pu réaliser de petites soupapes pour la T.S.F. pouvant fournir un courant redressé de 1 A environ sous 25 V.

SOUPAPES A GAZ RARÉFIÉS.

Utilisant le phénomène de pointe-plateau observé jadis sur les bobines d'induction, phénomène qui réalise une conductibilité unilatérale, même dans l'air, lorsque les électrodes sont suffisamment éloignées, M. VILLARD a obtenu des soupapes formées d'une électrode à grande surface (plateau) constituée par une spirale d'aluminium placée en regard d'une électrode filiforme en invar dans une ampoule dont on a diminué considérablement la pression de l'air. Cet appareil est utilisé pour le redressement de courants de très haute tension employés avec les ampoules pour rayons X.

A ce type se rattachent les valves au *néon* mises récemment dans le commerce et fonctionnant sous des tensions relativement faibles (150 à 220 V) avec une intensité de courant redressé de l'ordre de 60 mA environ. Ces valves utilisent aussi le phénomène de pointe-plateau ; elles sont en effet constituées par deux électrodes, l'une est un simple fil, l'autre est formée d'un tube enveloppant le fil, le tout étant plongé dans une atmosphère de néon contenue dans une ampoule en verre.

SOUPAPES A ARC ÉLECTRIQUE.

Ces appareils, dont le redresseur à mercure est le type le plus connu, utilisent la conductibilité unilatérale que présente la vapeur de mercure dans un espace vide de tous gaz.

Rappelons le principe : Un récipient, en verre pour les petits appareils, en métal pour les grands, dans lequel on a fait un vide élevé, contient, au fond, du mercure formant cathode et, au-dessus, un certain nombre d'anodes en fer ou en graphite, reliées aux différents fils de phases des courants alternatifs à redresser.

En basculant l'ampoule, ou en faisant jaillir à l'intérieur un arc à l'aide d'une électrode auxiliaire, il s'établit, par la vapeur de mercure, une liaison entre le mercure et les différentes électrodes, l'arc prenant pour base le mercure et sautant d'une électrode à l'autre au fur et à mesure qu'elles sont positives. On recueille alors un courant continu de même sens entre le mercure et le point milieu du transformateur alimentant les anodes. Rappelons que ces redresseurs sont le siège d'une chute de tension de 15 V environ, ce qui fait que ces appareils ont un rendement d'autant plus grand qu'ils travaillent sur une tension plus élevée.

Le vide n'est pas nécessaire pour obtenir ce phénomène ; M. SOULIER donne le schéma d'un appareil redresseur à arc marchant à l'air libre dû à M. MURPHY et décrit jadis dans *Electrical World* du 22 juin 1911, p. 1629.

De même, M. TOULON a réalisé en France un redresseur et un relais à arc fonctionnant à l'air libre au moyen d'une étincelle-pilote. Cet appareil a été décrit dans le *Bulletin de la Société Française de Physique* du 6 juillet 1928.

SOUPAPES A FILAMENT CHAUFFÉ.

Basés sur l'expérience bien connue de la valve de Fleming, ces appareils se présentent sous la forme d'une ampoule dans laquelle on a fait le vide et qui contient un filament de tungstène et, au-dessus, une plaque de nickel ou de molybdène.

Si l'on porte le filament à l'incandescence, il émet des électrons qui vont neutraliser l'électrode opposée lorsque la polarité de cette dernière est convenable. Le courant passe dans un sens seulement, c'est ce qu'avait observé Fleming. En introduisant de l'argon dans l'ampoule, on diminue la résistance intérieure lors du passage du courant et on augmente le rendement de l'appareil, c'est là tout le secret des redresseurs « tungsar » (non formé du mot tungstène et de argon).

Pour montrer facilement l'effet de la valve de Fleming à l'air libre,

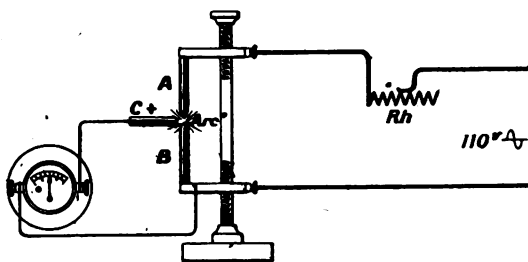


Fig. 2.

M. SOULIER réalise une expérience inédite assez curieuse à l'aide d'un arc électrique (fig. 2).

Faisant jaillir un arc électrique alimenté par du courant alternatif entre les deux charbons A et B d'une lanterne de projection, M. SOULIER dispose entre les deux charbons A et B un autre charbon C ne touchant pas aux deux premiers et relié à un voltmètre à courant continu, dont l'autre borne est reliée à l'un quelconque des deux charbons AB.

Lorsqu'on fait avancer le charbon auxiliaire C dans l'atmosphère gazeuse créée par l'arc, on voit aussitôt l'aiguille du voltmètre accuser une tension continue de 15 à 20 V. Examiné à l'oscillographe, le courant traversant le voltmètre est un courant parfaitement redressé, ne contenant aucune partie négative, mais fortement dentelé et de forme presque carrée.

Cette expérience, facile à réaliser dans les cours, permet de mettre en évidence l'effet de Fleming sans dispositif compliqué.

SOUPAPES ÉLECTRONIQUES.

Ces derniers appareils, extrêmement simples en principe, mais dont le fonctionnement reste encore mystérieux malgré les théories échaudées sur leur marche, constituent, en quelque sorte, le dernier cri en matière de redressement de courant.

C'est tout d'abord le redresseur *colloïd* de M. ANDRÉ, présenté à l'Académie des Sciences le 10 août 1925, formé par une petite ampoule de verre contenant de l'argent colloïdal en suspension dans de l'acide sulfurique concentré. Deux électrodes, l'une en argent, l'autre en ferrosilicium, fonctionnent comme dans la soupape électrolytique, avec cette différence que pour un certain sens du courant, les particules d'argent colloïdal forment une chaîne continue offrant au courant un passage sans résistance appréciable, résistance qui devient infinie si le courant change de sens; on obtient ainsi un redresseur à contact dans lequel l'électrolyse ne paraît plus intervenir et dont le rendement a été trouvé excellent sur certains appareils. De grandes difficultés de construction ont empêché jusqu'ici son développement, mais son principe reste intéressant.

Le *sulfotron* des établissements Radio LI. (Lévy et C^{ie}) procède d'une façon analogue: un crayon de charbon et un crayon d'aluminium sont placés bout à bout et séparés par du sulfure cuivrique. On constate qu'un tel système présente dans le sens *sulfure cuivrique-aluminium* une résistance presque nulle et infinie dans le sens contraire. L'ensemble est enfermé dans une ampoule contenant des polysulfures d'ammonium destinés à entretenir de soufre le sulfure cuivrique, deux bornes le terminent.

Le redresseur *rectox* à oxyde par lequel nous terminerons cette étude est le type de la simplicité en matière de redresseurs, puisqu'il est constitué par une rondelle de cuivre oxydé convenablement, serré fortement contre une rondelle en plomb.

Chaque couple peut redresser une tension de 6 V au maximum avec une densité de courant de 0,3 A : cm². Il suffit d'en accoupler en série le nombre que l'on veut pour redresser des courants d'une tension quelconque.

Le redressement dans cet appareil paraît s'effectuer en l'absence de toute action électrolytique ou de toute modification chimique ou physique des éléments en présence. C'est un appareil essentiellement statique ne réclamant aucun entretien, le redresseur idéal par conséquent. Il faut cependant prendre avec lui certaines précautions, ne pas le laisser s'échauffer notamment, car l'oxyde se trouverait modifié et l'appareil perdrait subitement ses propriétés. Sur la nature exacte de l'oxyde, sa formation, son épaisseur, les auteurs ⁽¹⁾ laissent planer une incertitude voulue, car c'est là en somme ce qui constitue l'invention. Quoi qu'il en soit, on peut dire que le redressement se trouve localisé à la surface commune du cuivre et de l'oxyde sur une épaisseur pelliculaire.

REDRESSEURS MÉCANIQUES.

L'examen de ces appareils, fort nombreux aujourd'hui, pouvant nous entraîner très loin, nous renverrons le lecteur que la question intéresse au n° 875 du 10 décembre 1928 de l'*Industrie Electrique*.

(1) MM. GRONDHAL et GEIGER, *Journal of the American Institute*, mars 1927.

SEMAINE DE DISCUSSIONS D'OCTOBRE 1928

COMPTE RENDU STÉNOGRAPHIQUE DES DISCUSSIONS

(Suite).

Séance du vendredi 26 octobre 1928.

5^e SECTION. — TÉLÉGRAPHIE. -- TÉLÉPHONIE. TRANSMISSION PAR ONDES.

SOMMAIRE

- 1^o Discussion des rapports de MM. BONNIN et Paul JOLY sur le télétype et le télemixte. — M. CHAUVEAU : démarrage automatique du moteur télétype ; utilisation du télétype sur les réseaux téléphoniques publics (brevets de la Société française Radio-électrique), p. 389 — M. le Président et M. CHAUVEAU : observations sur les conditions d'exploitation des systèmes JOLY et CHAUVEAU p. 391 — M. BONNIN : les ateliers CARPENTIER ont renoncé à l'exploitation du télétype par courant vibré en raison de l'entretien des amplificateurs, p. 393 — MM. CLAVIER, REYNAUD-BONIN, CHAUVEAU : contrôle d'authenticité des transmissions par télétype, p. 394.
- 2^o Discussion du rapport de M. CHAUVEAU sur le sférographe. — M. le président et M. CHAUVEAU : temps nécessaire à la réception d'une image et réglage, p. 395.
- 3^o Discussion du rapport de M. CAILLEZ sur les relations téléphoniques entre Paris et la proche région parisienne. — M. le Président : les réajustements de taxes sont fonction des procédés techniques employés, p. 396.

Présidence de M. REYNAUD-BONIN,

Directeur des Services téléphoniques de Paris.

M. BONNIN résume son rapport sur le *Télétype* ⁽¹⁾.

M. LE PRÉSIDENT. — M. BONNIN nous a montré que les principes de l'appareil très original qu'est le télétype, diffèrent de ceux de l'appareil Baudot. L'emploi du télétype est certainement appelé à prendre partout un grand développement.

En France, où un grand nombre de lignes à grande distance et à fort trafic sont exploitées avec le Baudot, l'Administration des Postes

(1) *Bulletin de la Société Française des Électriciens*, 4^e série, tome VII, n^o 85, septembre 1928, page 915.

et Télégraphes, étudie concurremment dans quelle mesure peut être utilisé le télétype, que l'on ne peut songer d'ailleurs à substituer purement et simplement au Baudot, mais qui trouvera son emploi pour des liaisons d'une autre espèce.

Je pense qu'à la prochaine Semaine d'octobre, un rapport pourra être présenté sur les résultats de l'étude entreprise.

M. BONNIN résume le rapport de M. Paul JOLY, sur *la description du dispositif télémixte* (1).

M. CHAUVÉAU. — M. BONNIN vient de nous présenter le télétype de la Maison Carpentier, et le dispositif télémixte pour l'utilisation de cet appareil sur les lignes téléphoniques du réseau public.

A ce sujet, je voudrais signaler que nous avons étudié en 1923, à la Société Française Radio-Électrique, l'utilisation du télétype. Je tiens à dire, tout de suite, que cet appareil nous a donné toute satisfaction en tant que télégraphe imprimant; il est robuste, d'un maniement simple et sûr et peut être mis entre les mains de n'importe quelle dactylographe expérimentée.

Mais, au point de vue de son utilisation pratique, nous nous sommes heurtés, à cette époque, à quelques difficultés; en effet, les premiers modèles de télétype exigeaient, pour leur fonctionnement, deux circuits; l'un pour le démarrage du moteur, l'autre pour la transmission des télégrammes. Pour simplifier l'installation, nous avons été amenés à utiliser un montage spécial, tel que la mise de la ligne sous courant provoque la mise en marche automatique des moteurs, et que la suppression du courant en ligne, pendant un certain temps, provoque l'arrêt du système.

Des combinaisons de circuits avec relais différés nous ont permis d'arriver à ce résultat; ces combinaisons ont fait l'objet d'un brevet déposé en juillet 1923; M. BONNIN ne nous indiquant pas par quel moyen il obtenait le démarrage automatique, je crois utile de lui signaler l'existence de ce brevet.

Nous avons été amenés également, au cours de nos études, à envisager l'utilisation du télétype sur les réseaux téléphoniques publics. Le système télémixte que vient de nous exposer M. JOLY, remplit ce but; il est basé sur l'utilisation d'une position spécialement équipée,

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VIII, 4^e Série, n° 85, septembre 1928, page 921.

dans un central téléphonique pour assurer le service Téléphone-télétype.

Cette position spéciale, si j'ai bien compris, comporte essentiellement des relais Baudot répéteurs, qui renvoient vers l'abonné appelé les signaux émis par l'abonné appelant; elle comporte, en outre, un certain nombre d'organes auxiliaires. Cette méthode d'exploitation oblige ainsi l'Administration des P.T.T., à faire un équipement spécial assez différent de l'équipement normal, chaque fois qu'elle voudra accorder à un abonné le service Télétype; elle devra également disposer d'un personnel spécialisé pour l'exploitation de ces positions télémixtes.

Nous n'avons pas songé, à la S. F. R., à modifier les installations téléphoniques de l'Administration pour plusieurs raisons : d'abord parce que nous étions pressés, et ensuite parce que nous avons pensé que nous risquions de rencontrer des oppositions d'ordre administratif quasi insurmontables; en admettant même que ces oppositions aient été réduites, il nous aurait été difficile, en tant que Société privée, de nous livrer à des expériences dans un bureau central public en exploitation.

Le problème s'est donc posé, pour nous, de la façon suivante : faire passer sur une ligne téléphonique des signaux télégraphiques sans troubler le trafic.

Qu'est-ce qui ne produit pas de perturbation sur une ligne téléphonique ?

La conversation; qu'est-ce que la conversation? c'est une variation, à une certaine fréquence, de la résistance du microphone. Or, si, au cours d'une conversation, on remplace le récepteur par un système redresseur à lampe triode, on constate qu'un relais Baudot placé dans le circuit plaque de cette lampe suit, en quelque sorte la parole, il suffit pour cela que la conversation soit de force moyenne et bien articulée.

Pour réaliser artificiellement la conversation au départ, il faut remplacer le microphone par une résistance équivalente, et court circuiter périodiquement une fraction de cette résistance, à l'aide d'un tikker réglé sur la fréquence moyenne de la conversation. Pratiquement, la mise en circuit du tikker est commandée par l'émetteur du télétype.

On voit ainsi que la transmission des signaux télégraphiques ne provoquera pas plus de perturbation sur la ligne téléphonique, qu'une conversation normale faite sur une note monotone.

À la réception, le Baudot suivra les signaux et commandera le récep-

teur télétype. Aucun courant spécial ne sera lancé en ligne et, au point de vue absolu, il n'y aura aucune différence en ligne entre la téléphonie et la télégraphie. Dans un cas comme dans l'autre, l'énergie microphonique sera fournie par la batterie centrale, si l'installation est à batterie centrale, ou par la batterie locale de téléphone dans le cas contraire.

La Société Française Radio-Electrique a breveté et construit un appareillage particulièrement étudié en vue de ce genre d'exploitation; il comporte, en plus du poste d'abonné et du télétype qui ne subissent aucune modification, une boîte auxiliaire; celle-ci porte une manette qui peut être mise, soit sur la position « téléphonie », soit sur la position « émission », soit sur la position « réception ».

Dans le premier cas, le téléphone est seul en circuit et la communication est demandée comme à l'ordinaire. Après la mise en communication, l'abonné appelé passe sur la position réception; l'appelant sur la position émission, ce dernier transmet ensuite son télégramme; grâce à un dispositif particulier, le récepteur Télétype du poste transmetteur est également en ligne, ce poste a donc le contrôle de ses propres signaux. Enfin, si l'abonné appelé constate que le télégramme reçu est incorrect ou incohérent, il peut immédiatement passer sur émission, ce qui trouble le contrôle de l'émetteur, qui est ainsi prévenu que le télégramme n'est pas correctement reçu. Aucune de ces manœuvres n'a d'influence sur les organes du Bureau central téléphonique.

De nombreux essais ont eu lieu pendant plusieurs mois, sans amener aucune plainte de la part de l'Administration ou des abonnés; ces essais de longue durée ont été faits sur des circuits différents, empruntant divers centraux de Paris et de sa banlieue : Gutenberg; Louvre; Wagram; Fleurus; Central; etc... ils ont donné d'excellents résultats au point de vue télétype. Quant au point de vue téléphonique, tout s'est passé pour l'Administration comme lors de l'établissement d'une communication téléphonique ordinaire, entre les abonnés d'un même central ou de centraux différents.

M. LE PRÉSIDENT. — Je voudrais faire quelques remarques sur les deux communications relatives à l'emploi d'appareils télétypes sur les lignes téléphoniques.

Nous sommes en présence de deux procédés techniques, très différents l'un de l'autre et très intéressants l'un et l'autre. Il est certain qu'ici, à la Société Française des Electriciens, nous devons nous placer

uniquement au point de vue technique pour étudier ces deux procédés et rechercher leurs applications possibles.

Néanmoins, l'exploitation et la technique se pénètrent forcément un peu, et il y a quelques remarques inévitables à faire au point de vue d'une exploitation possible.

Je mets de suite de côté cette objection, que le système de M. CHAUVÉAU pourrait être installé d'une façon clandestine sans que l'Administration n'en sache rien. Si son système devait être agréé, nous avons des moyens de contrôle suffisants, dans la visite des installations téléphoniques des abonnés, pour empêcher des applications clandestines.

Au point de vue de l'exploitation, le système Chauveau supposerait de préférence un abonnement par redevance annuelle fixe, tandis que le système Paul Joly suppose des redevances proportionnelles à la durée d'utilisation par télétype; dans le système Chauveau l'installation est à l'entière disposition de l'abonné, qui demande une communication téléphonique ordinaire, sans spécifier qu'elle sera utilisée en télétype. Donc, si une Administration, dans un pays quelconque — je ne parle pas seulement de l'Administration française — adopte de telles installations, il semble que le corollaire le plus logique soit la redevance annuelle fixe.

D'autre part, dans le système Paul Joly, l'Administration exploitante a constamment, par ses positions télémixtes, le contrôle de l'occupation en télétype, tandis que, dans le système CHAUVÉAU, elle ne l'a pas. On pourrait dire que, puisque la redevance à payer est perçue selon d'autres modalités et que, dans un cas comme dans l'autre, on a calculé ce que devait être cette redevance, cela n'a peut-être aucun intérêt au point de vue technique; ce n'est cependant pas indifférent. En effet, les maisons importantes qui peuvent employer ces installations, demandent beaucoup de communications inter-urbaines; or, rien n'est gênant pour l'inter-urbain, comme de trop fréquents « pas libres » sur la communication demandée pour une maison.

Avec le système Paul Joly, lorsque l'inter-urbain demande une maison causant en télémixte, nous avons nous-mêmes le contrôle de ce « pas libre »; si nous constatons que le cas est trop fréquent, nous pouvons intervenir d'une manière efficace; avec le système CHAUVÉAU, au contraire, nous ne pourrions savoir si le « pas libre » est dû à une conversation urbaine ou à une conversation en télétype.

M. CHAUVÉAU. — Le téléphone est un organe qu'on doit avoir, non pas juste en quantité suffisante, mais plus qu'en quantité suffisante, et une maison de commerce doit augmenter le nombre de ses lignes, si ses correspondants se plaignent de ne pas obtenir facilement la communication avec elle.

Si elle veut adopter le télétype, elle consultera ses ingénieurs qui lui diront si la ou les nouvelles lignes nécessaires pour cette exploitation, paieront ou non la redevance supplémentaire exigée.

M. LE PRÉSIDENT. — La question est peut-être plus complexe qu'elle n'en a l'air, car il est avéré que si certains clients souscrivent facilement des lignes supplémentaires, d'autres se font tirer l'oreille; l'administration exploitante est donc obligée de se montrer prudente, avant de superposer au service téléphonique ordinaire des services nouveaux qui seraient trop chargés.

J'ajoute qu'en exploitation téléphonique, il est bon de disposer de supervisions de toute nature, pour connaître dans quelle situation sont les appareils ; dans un des systèmes, cette supervision est com-mode, dans l'autre elle ne l'est pas.

M. CHAUVÉAU. — Vous avez la même supervision qu'au téléphone, avec le système de M. Paul JOLY, vous serez obligé de mettre des installations spéciales télétypes. Seulement, il y a des endroits où vous aurez la possibilité d'amortir ces installations spéciales, parce que j'espère bien que vous n'amortirez pas l'exploitation télémixte pour un seul abonné; vous devez l'amortir sur tous les abonnés d'un central ou estimer que, dans un Central, il peut y avoir un certain pourcentage d'abonnés; mais quand dans un petit Central, deux personnes manifesteront le désir d'avoir un télétype, vous ne pourrez le leur donner, car elles ne seront pas assez nombreuses pour que vous établissiez une position télémixte au Bureau central, ou vous leur ferez payer la position télémixte toute entière.

M. BONNIN. — Les Ateliers Carpentier, tout en construisant le télé-mixte, se sont occupés aussi de transmettre par courant vibré, ils ont réalisé des postes d'essais et établi des communications par le réseau.

On a télétypé en utilisant le réseau, sans que l'Administration fasse de réclamations. Du reste, l'Administration a été, au moins officieusement, avisée de nos essais. Mais nous avons eu à considérer quelle était la meilleure manière d'exploiter le télétype sur le réseau et nous avons, pourrais-je dire, pesé le pour et le contre des deux manières :

télémixte et courant vibré. On a préféré le télémixte et une des principales raisons de cette préférence, c'est que nous avons vu des inconvénients d'ordre pratique, à imposer à l'abonné la charge de l'entretien d'une amplification par lampe.

M. CHAUVEAU. — Je crois qu'il y a une nuance, entre ce qu'on appelle la commande par courant vibré et la commande que j'emploie. La commande par courant vibré se fait en produisant un courant supplémentaire. Dans mon système, j'utilise le courant de l'Administration et je le superpose à un courant vibré.

M. BONNIN. — Vous êtes obligé d'installer chez l'abonné l'amplification, la lampe et les batteries.

M. CHAUVEAU. — D'accord, mais, en ce moment, en France, il y a plusieurs centaines de mille de télégraphistes sans fil. Ils ont tous trois ou quatre lampes d'amplification; ne peut-on vraiment dire, que ces appareils commencent à entrer dans le domaine pratique?

M. LE PRÉSIDENT. — Cela augmente le prix de l'installation d'abonné.

M. CHAUVEAU. — Cela regarde l'abonné. Il faut considérer le poste complet, le télétype et ses accessoires, le prix de ces derniers est peu de chose en regard du télétype lui-même.

M. BONNIN. — C'est moins une question de prix, qu'une question d'ordre pratique. Dans une maison qui utilise le téléphone, n'importe qui saisit l'appareil, décroche et parle, mais pour entretenir une amplification par lampe, il faut s'adresser à un sans filiste : or, malgré le grand nombre de postes récepteurs actuellement utilisés, il n'est pas certain que les abonnés puissent trouver ce sans-filiste.

M. CHAUVEAU. — Ce n'est pas un poste de T. S. F.; dans les installations de basse fréquence, il suffit de fermer l'interrupteur et d'ajouter un contact pour fermer la basse fréquence, d'autant plus qu'il ne s'agit pas de recevoir de la musique.

M. BONNIN. — Cette complication n'est rien pour un amateur de T. S. F.; mais pour l'usager ordinaire du téléphone elle est peu désirable.

M. CLAVIER. — Je désirerais savoir comment, éventuellement, chacun des deux systèmes pourrait apporter aux communications envisagées une garantie d'authenticité.

M. BONNIN. — Ici, nous avons à faire à la télégraphie, et l'authenticité est la même que pour tous les télégrammes.

M. CLAVIER. — Ne pensez-vous pas que, dans certains cas, l'enregistrement de la date d'envoi se révélerait utile?

M. CHAUVEAU. — Vous avez le contrôle.

M. CLAVIER. — Si les deux appareils en communication sont sous le seul contrôle des abonnés, l'intérêt du système n'est que de préciser un document qu'on aurait autrement transmis par téléphone. Si on passe par une administration, la garantie donnée par celle-ci, quant à l'époque de la transmission, peut, je pense, avoir son intérêt pratique.

M. CHAUVEAU. — Sur le télégramme sont mentionnées la date et l'heure.

M. LE PRÉSIDENT. — La fiche faite par l'Administration au Central inter-urbain, pour chaque communication télémixte, prouvera d'une façon indiscutable qu'il y a eu une communication par télémixte tel jour à telle heure.

M. CHAUVEAU. — Si nous nous plaçons au point de vue pratique, qui achètera ces appareils? Des industriels, peu songeront à dire à l'Administration : tel jour, à telle heure, avez-vous bien passé une communication?

M. CHAUVEAU résume son rapport sur le *sférographe* ⁽¹⁾, et il ajoute qu'il espère pouvoir faire fonctionner cet appareil, au cours d'une des séances mensuelles de la Société.

M. LE PRÉSIDENT. — L'introduction de l'appareil sur le marché intéressera certainement les nombreux amateurs de T. S. F.; nous sommes heureux, en tout cas, à la Société Française des Electriciens, d'en avoir eu la primeur, car cet appareil fera beaucoup parler de lui en France; je crois d'ailleurs, qu'à l'étranger on s'occupe aussi de problèmes analogues.

M. CHAUVEAU. — La difficulté était de réaliser un appareil pouvant être mis entre toutes les mains. Avec le *sférographe*, il n'y a absolument rien à régler en dehors du récepteur de T. S. F.

M. LE PRÉSIDENT. — M. Chauveau peut-il nous dire combien de temps il faut pour faire une image?

M. CHAUVEAU. — En 4 minutes on peut avoir l'image complète.

M. LE PRÉSIDENT. — Peut-on avoir, selon le réglage de l'appareil, des images plus ou moins foncées, et qui restent aussi nettes?

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VIII, 4^e Série, n° 84, août 1928, page 835.

M. CHAUVEAU. — On peut en effet régler le ton mais, si les images sont trop foncées, elles ne sont plus bonnes et si elles sont trop pâles, les détails ressortent moins. En général, sur les plages qu'indiquent les graduations de l'appareil, l'image est toujours bonne; le réglage pour la réception d'une bonne image, correspond à celui nécessaire pour la réception des concerts en haut parleur pas trop poussé.

M. CAILLEZ résume son rapport sur *le problème des relations téléphoniques entre Paris et les localités de la proche région parisienne* ⁽¹⁾.

M. LE PRÉSIDENT. — M. Caillez nous a laissé entrevoir qu'il était difficile de donner de l'extension à la zone régionale, étant donné qu'il faut construire un grand nombre de circuits coûteux, qu'il faut renoncer au bénéfice des circuits combinés, qu'il faut avoir des signalisations fonctionnant sûrement pour que les circuits soient libérés.

Tout cela est exact et nous explique que s'il y a avantage à exploiter suivant certaines méthodes, des réajustements de taxes peuvent devenir nécessaires, comme corollaire de la surabondance nécessaire des fils de liaison et de leur utilisation, avec un rendement diminué.

Je remercie M. CAILLEZ pour le très bel exposé qu'il nous a fait.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VIII, 4^e Série, n^o 85, septembre 1928, page 886.

Séance du samedi 27 octobre 1928.

6^e SECTION. — RECHERCHES PHYSIQUES
PHYSIOLOGIE. — APPAREILS DE MESURE

SOMMAIRE

- 1^o. Chauffage par induction : discussion du rapport de M. BUNET, ERRATA : p. 398. — M. RIBAUD : remarques au sujet de la théorie du four à haute fréquence, confirmant les conclusions antérieures de l'auteur ; épaisseur optima du creuset p. 399. — M. BRYLINSKI : valeur $\frac{1}{4}$ du terme constant dans l'expression du rapport K_1 ; les formules de BESSEL peuvent être remplacées par les formules exponentielles pour le calcul du courant dans un conducteur au cas où la peau est très mince p. 401. — BUNET : réponse à M. RIBAUD : on ne peut supprimer le terme $\frac{R^3}{\omega}$ p. 402. — M. GUTMANN : importance de la résistance de l'étincelle dans la décharge des condensateurs ; les éclateurs tournants permettent d'obtenir des facteurs de puissance de 0,8 et 0,9 : l'abandon du terme en $\frac{R^2}{\omega}$ est légitime : le facteur de puissance paraît décroître quand la fréquence augmente sans présenter le maximum, p. 403. — MM. BUNET et GUTMANN : importance de la résistance dans l'étincelle ; dans le circuit primaire, p. 405. — M. BUNET : la résistance du circuit inducteur est fonction de la fréquence ; le terme L_2 doit représenter la self inductance totale du circuit secondaire : dans les fours industriels, $\tan \varphi$ varie de 1 à 5 ; le facteur de puissance passe par un maximum seulement dans le cas d'une paroi mince sans effet Kelvin appréciable, valeur constatée du rendement des fours alimentés par alternateurs, p. 406.
- 2^o Eclateur de fours à haute fréquence, discussion du rapport de M. DUFOUR. — M. DUFOUR : la valeur de 0,5 indiquée pour le facteur de puissance, a été calculée en partant d'une distance d'éclatement trop faible, p. 407. — M. GUTMANN : l'éclateur tournant permet d'utiliser une puissance de 50 kW et d'atteindre 80 pour cent de rendement et 0,75 à 0,90 pour le facteur de puissance ; on peut régler la valeur de ce dernier en modifiant les constantes du circuit ; l'éclateur peut fonctionner de 8 à 16 heures sans réglage ; il permet par l'emploi de 3 disques décalés, l'établissement d'installations puissantes sur les réseaux triphasés ; résultats obtenus : avantage des alternateurs à haute fréquence au delà des puissances de 50 à 75 kW, p. 408.
- 3^o Questionnaire du Comité de la Conférence des grands réseaux pour l'amélioration du facteur de puissance. — M. LIKOWICZ : définitions théoriques de la puissance réactive : mesure, proposition d'une méthode, p. 413. — M. DARRIEUS : le facteur ω est introduit pour faciliter les calculs, p. 418. — M. GIRAULT : l'énergie réactive doit être pesée de façon différente suivant la fréquence, p. 420. — M. BRYLINSKI : expression de la puissance réactive dans le cas de courants non sinusoïdaux, p. 424. — M. TOURNAYRE : il vaut mieux parler de facteur de puissance que d'énergie réactive, p. 425. — M. BUDEAU : la définition de l'énergie réactive par la différence entre les énergies des champs magnétique et électrique ne donne aucune indication sur les oscillations ; examen des définitions proposées en régime non sinusoïdal ; conditions à remplir pour que cette définition soit correcte ; la définition $\sum U_n I_n \sin \varphi_n$ est seule à y répondre ; elle met en évidence la puissance déformante p. 425. — M. LIENARD : toutes les définitions proposées pour la puissance réactive en régime non sinusoïdal, y compris celle de

M. BUDEAU, sont conventionnelles ; la puissance réactive ne paraît pas correspondre aux oscillations de l'énergie intrinsèque. p. 432.

- 4° Dispositif permettant d'obtenir les composantes symétriques des courants, des tensions ou des puissances dans un système polyphasé sans l'emploi de filtres : discussion du rapport de M. ILIOVICI. — M. DARRIEUS : cas des défauts équilibrés, p. 433.

Présidence de M. LIÉNARD.

Sous-Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines.

M. BUNET résume la première partie de son rapport sur *le chauffage par induction* (1).

Il signale dans ce texte les erreurs ci-après :

- Page 940. — *La formule est* $5030 : \sqrt{\mu\gamma f}$, où γ est la conductivité avec l'ohm comme unité de résistance.
- Page 944. — *Figure 1.* — *A gauche*, supprimer le petit trait sur l'axe des ordonnées en face du chiffre 1 ; c'est l'ordonnée initiale de la courbe qui est égale à 1. *A droite*, supprimer λ entre les mots *la* et *densité*.
- Page 943. — *Ligne 18.* — Remplacer le point par une virgule ; la lettre *s* doit être minuscule.
- Page 944. — *Tableau.* — Dernière colonne ; lire périmètre multiplié par ϵ .
- Page 947. — *Ligne 6.* — Au dénominateur de la fraction donnant *D*, la première parenthèse, à gauche, comporte + et non — entre ses deux termes. Le signe — devant l'exposant $2cX$ est mal venu.
- Page 947. — *Ligne 17.* — Le signe — devant l'exposant cy est mal venu.
- Page 948. — *Tableau.* — 2^e colonne, lire $\rho = 2 \cdot 10^{-6}$.
- Page 950. — *Ligne 4.* — Le signe — devant l'exposant est mal venu.
- Page 952. — *Ligne 27.* — Ne pas aller à la ligne et continuer sans point.
- Page 963. — *Ligne 21.* — 2^e mot, lire *augmente* au lieu de *diminue*.
- Page 966. — *Figure 8.* — Un axe *ZZ* devait être porté à droite comme sur fig. 9.
- Page 967. — *Ligne 6.* — *Chargera* au lieu de *changera*.
- Page 978. — *Ligne 12.* — ϵ_2 au lieu de ϵ_1 .
- Page 981. — *Dernière ligne.* — U_2^2 au lieu de U_2 .
- Page 985. — *Ligne 7.* — $\cos 2\pi f t$ au lieu de $\cos 2\pi f c$.
- Page 990. — *Ligne 4*, après *figure.* — 3ϵ au lieu de $3e$.
- Page 992. — *Bibliographie.* — STRUTT au lieu *STUTT*.

Ajouter. — M. MATHIEU, *Revue des Arts et Métiers*, septembre 1928.

M. le Président donne lecture de la note ci-après, de M. RIBAUD, Professeur à l'Université de Strasbourg.

M. RIBAUD. — *Remarques au sujet de la théorie du four à haute fréquence.* — Nous voudrions apporter quelques remarques et additions

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VIII, 4^e série de septembre 1928, p. 940.

au rapport donné par M. BUNET dans le *Bulletin de septembre 1928 de la Société Française des Electriciens*

D'abord nous nous permettrons de revenir sur l'équation qui a fait l'objet d'une discussion aux séances d'octobre 1927 et à laquelle M. BUNET fait allusion dans son rapport (§ 15, Bulletin de septembre 1928).

Dans nos mémoires de 1923 et 1926, nous avons utilisé uniquement cette équation au calcul du courant secondaire i_2 en fonction du courant primaire i_1 et au calcul de l'énergie recueillie dans la substance; dans le cas où l'épaisseur de la couche de peau est très faible par rapport au diamètre du cylindre chauffé ($\frac{R_2}{\omega}$ négligeable par rapport à L_2), l'équation se réduit pratiquement à

$$L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} = 0 \quad (1),$$

qui donne immédiatement $i_2 = -ni_1$ (n nombre de tours primaires).

Ce résultat, que nous avons indiqué dans notre premier mémoire, est parfaitement correct, il résulte d'ailleurs immédiatement du fait, que le champ résultant des courants primaire et secondaire est nul au centre du cylindre.

Les conclusions que nous en avons tirées sont également correctes, en particulier celles que nous avons reproduites en 1923 dans notre rapport à la Société Française des Electriciens : l'énergie recueillie dans la substance est proportionnelle au carré des ampère-tours efficaces, au diamètre occupé par la substance dans le four, proportionnelle aux racines carrées de la résistivité et de la fréquence (2).

Quant aux conclusions que nous avons également données : pour une fréquence fixée, existence d'une résistivité fournissant un rendement maximum, diamètre optimum des grains de substance fournis-

(1) L'introduction du terme $\frac{R_2}{\omega}$ ne change rien au résultat que nous cherchions.

Les valeurs de L_2 et M étaient bien en accord avec celles admises par M. BUNET. Nous reconnaissons que, dans certains cas particuliers, peu nombreux en pratique d'ailleurs, l'introduction du terme $\frac{R_2}{\omega}$ peut présenter de l'intérêt, mais uniquement dans le calcul de la self inductance équivalente du four, et nullement dans toutes les considérations de rendement que nous nous sommes toujours attaché à développer. Nous sommes heureux de voir, en passant, que M. BUNET semble attribuer dans son dernier rapport (fin du § 14, beaucoup moins d'intérêt à la considération du facteur de puissance optimum sur laquelle nous avons formulé des réserves (*Bulletin Société Française des Electriciens* d'avril 1928, fin page 353)

(2) Northrup, précédemment, était arrivé à des conclusions totalement différentes

sant un rendement maximum, diamètre optimum du tube de l'enroulement, courbes de variation du rendement avec le diamètre de la substance et avec la fréquence d'alimentation, le lecteur les trouvera contrôlées dans un très intéressant mémoire de Strutt (1) paru récemment.

Dans ses rapports, M. BUNET envisage le cas du creuset « mince » (cylindre creux de faible épaisseur) principalement du point de vue du facteur de puissance; il peut y avoir grand intérêt à l'envisager au point de vue du rendement. Strutt, dans le mémoire que nous venons de citer, traite le problème et arrive à la conclusion suivante : il existe une épaisseur de creuset fournissant un rendement maximum.

Nous croyons devoir donner, de ce fait, une théorie élémentaire conduisant aux mêmes résultats que ceux indiqués par Strutt.

Si l'on suppose que l'on a affaire à des cylindres creux dont le diamètre d est grand par rapport à l'épaisseur ε de la couche de peau, l'énergie W recueillie dans la substance est donnée par

$$W = n^2 I_{eff}^2 \frac{r/2\omega^2}{r^2 + l^2\omega^2} \quad (2).$$

Supposons, en outre, le creuset d'épaisseur e faible par rapport à ε . On peut admettre que ce creuset est traversé par une densité de courant uniforme; sa résistance r est alors donnée par :

$$r = \frac{\pi d \rho}{h e},$$

(ρ résistivité, h hauteur du creuset), d'autre part $l = \frac{\pi^2 d^2}{h}$.

L'énergie W calculée plus haut est maximum si l'on a :

$$r = l\omega \quad \text{ou} \quad e_{opt} = \frac{\rho}{\pi d \omega} = \frac{2\varepsilon^2}{d},$$

et la valeur maximum de l'énergie recueillie est :

$$W_{max} = n^2 I_{eff}^2 \frac{\pi d \rho}{2 h e}.$$

L'énergie que l'on recueillerait dans les mêmes conditions si le cylindre était plein, a pour valeur :

$$W' = n^2 I_{eff}^2 \frac{\pi d \rho}{h \varepsilon}.$$

(1) Strutt, *Arch. für Elektrotechnik*, 1924-1928. Nous nous permettons de reproduire ici l'appréciation impartiale que donne l'auteur au sujet de nos mémoires : « G. RIBAUD, à Strasbourg, a eu le mérite, dans un travail paru il y a plusieurs années, de découvrir, par une théorie élémentaire et des expériences, beaucoup de propriétés du four à haute fréquence ».

(2) Voir notre mémoire de 1923, formule 3.

d'où

$$\frac{W}{W'} = \frac{\varepsilon}{2e} = \frac{d}{4\varepsilon}.$$

On remarquera que, si d est grand par rapport à ε , l'épaisseur optimum calculée est notablement plus faible que ε , ce qui justifie notre hypothèse; en outre, l'énergie que l'on recueille dans un cylindre creux ayant cette épaisseur, peut être très élevée.

M. BRYLINSKI. — Je voudrais revenir sur deux points de détail. M. BUNET a signalé que pour déterminer le rapport K en fonction de la variable qui est : $a\sqrt{\mu cf}$, on emploie souvent une formule linéaire comportant un terme constant égal à $\frac{1}{4}$.

Ceci résulte d'une opération très simple. Quand on reporte sur un diagramme les valeurs de K pour différentes valeurs de la variable, on arrive à une courbe de la forme ci-contre (fig. 1).

La valeur de K part de 1, puis augmente progressivement et peut

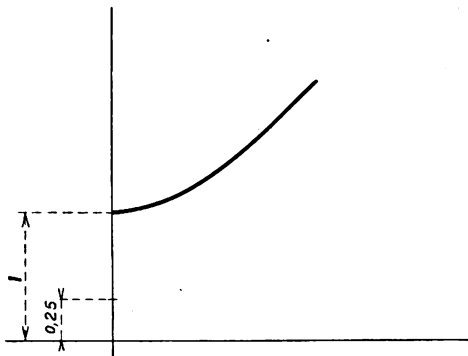


Fig. 1.

ensuite être représentée sensiblement par une droite; les écarts sont très faibles et on peut démontrer qu'à l'infini, quand la variable croît indéfiniment, la courbe limite est une ligne droite de même coefficient angulaire; cette droite ne passe pas par l'origine; j'avais recherché son équation il y a quarante ans, et trouvé pour le terme constant une valeur d'environ 0,23; M. MASCART a adopté ultérieurement 0,25 en arrondissant à un quart, il avait évidemment raison, et je me suis rallié, dans la suite, à cette valeur.

Le second point concerne le passage des formules de Bessel aux formules exponentielles beaucoup plus simples qui s'appliquent au cas d'un conducteur limité par un plan indéfini.

Lorsqu'on prend un conducteur rectiligne cylindrique, les formules de Bessel auxquelles on arrive, supposent que le conducteur est indéfini en longueur. Si on veut travailler sur un conducteur pratique, cette longueur est limitée, on doit, pour garder les mêmes formules, supposer que les lignes de force se comportent de la même manière que si le conducteur était prolongé en ligne droite.

Quand on prend un conducteur parallélipédique, limité dans le sens de la longueur, on opère de même ; on part du conducteur indéfini dans le sens horizontal, mais on le découpe fictivement par des plans perpendiculaires à la surface de séparation, qui sont les uns perpendiculaires et les autres parallèles aux lignes de courant.

On peut aisément passer, pour un conducteur cylindrique, des formules de Bessel aux formules plus simples du conducteur plan lorsqu'on se place dans le cas de la peau très mince ; quand le courant se localise pratiquement dans une peau mince par rapport au rayon, l'influence de la forme du conducteur disparaît complètement. On peut supposer que le conducteur est développé sur un plan et que, par conséquent, le cas se trouve être le même que si on a un conducteur de cette forme ; c'est pour cela qu'on peut passer dans une coque très mince des formules de Bessel aux formules plus simples du plan. M. VILLIERS a parlé autrefois de la résistance d'un rail de chemin de fer ; ce cas serait très compliqué à examiner s'il fallait tenir compte de la forme de la surface.

Mais, grâce à la perméabilité de l'acier, le courant se localise dans une coque très mince, de sorte que j'ai pu assimiler le rail à un conducteur indéfini limité par un plan, dont j'ai pris une largeur égale au périmètre du rail ; j'ai pu discuter ainsi les résultats expérimentaux de M. VILLIERS dans des conditions satisfaisantes.

Ce sont des points de détail, il est vrai, mais aussi des points d'histoire que M. BUNET paraissait désirer voir fixer.

M. BUNET. — Je réponds d'abord à M. RIBAUD. Je maintiens que dans l'équation des transformateurs, appliquée ou non aux fours, on n'a pas le droit de supprimer le terme $\frac{R_2}{\omega}$ sans s'exposer quelquefois à des erreurs importantes. Je maintiens que l'on peut d'abord ne pas tenir compte de la résistance primaire et l'introduire ensuite dans un terme correctif, au moins pour tous les cas de la pratique intéressants.

M. BUNET résume la suite de son rapport.

M. GUTMANN. — Je voudrais tout d'abord faire une remarque relative aux fours alimentés par décharges de condensateurs ; l'étincelle y présente une résistance importante et il faut en tenir compte dans les caractéristiques du circuit. Par conséquent, les données indiquées par

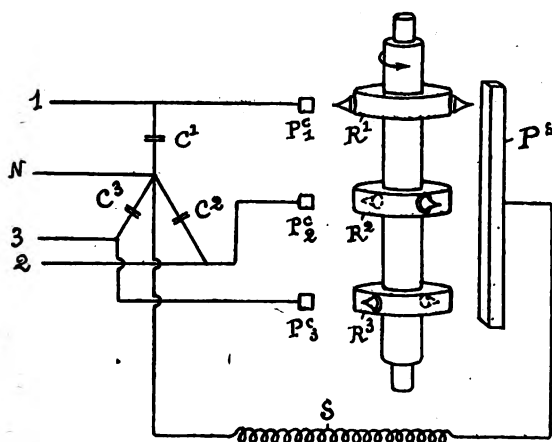


Fig. 2. — Schéma des connexions à éclateurs tournants de la Société générale d'applications Electro-thermiques.

M. BUNET : amortissement, rendement, etc..., doivent être modifiées pour tenir compte de cette résistance d'étincelle.

D'autre part, il a été indiqué que le facteur de puissance d'un poste à éclateur ne dépassait pas 0,5 ; on arrive couramment à 0,8 et même à 0,9 avec les éclateurs tournants. On est d'ailleurs maître de déterminer le facteur de puissance par un choix convenable du régime des trains d'ondes.

La note de M. RIBAUD appelle les remarques suivantes : si M. RIBAUD néglige sans inconvénient le terme $\frac{R_2}{\omega}$ c'est que la self-inductance due au secondaire est petite, non seulement devant la self-inductance du primaire à vide, mais aussi devant la self-inductance de fuite. On peut dire, en somme, que le four à haute fréquence est un très mauvais transformateur (celà est dû aux nécessités du calorifugeage), ce qui légitime, dans la plupart des cas pratiques, l'abandon du terme $\frac{R_2}{\omega}$.

Enfin, M. BUNET a conclu, dans le cas du chauffage dans le creuset à parois minces, à l'existence d'une fréquence optima assurant un maximum du $\cos \varphi$. Je crois que, dans la pratique, ce maximum ne se rencontre pas, par suite, sans doute, de la variation de la résistance

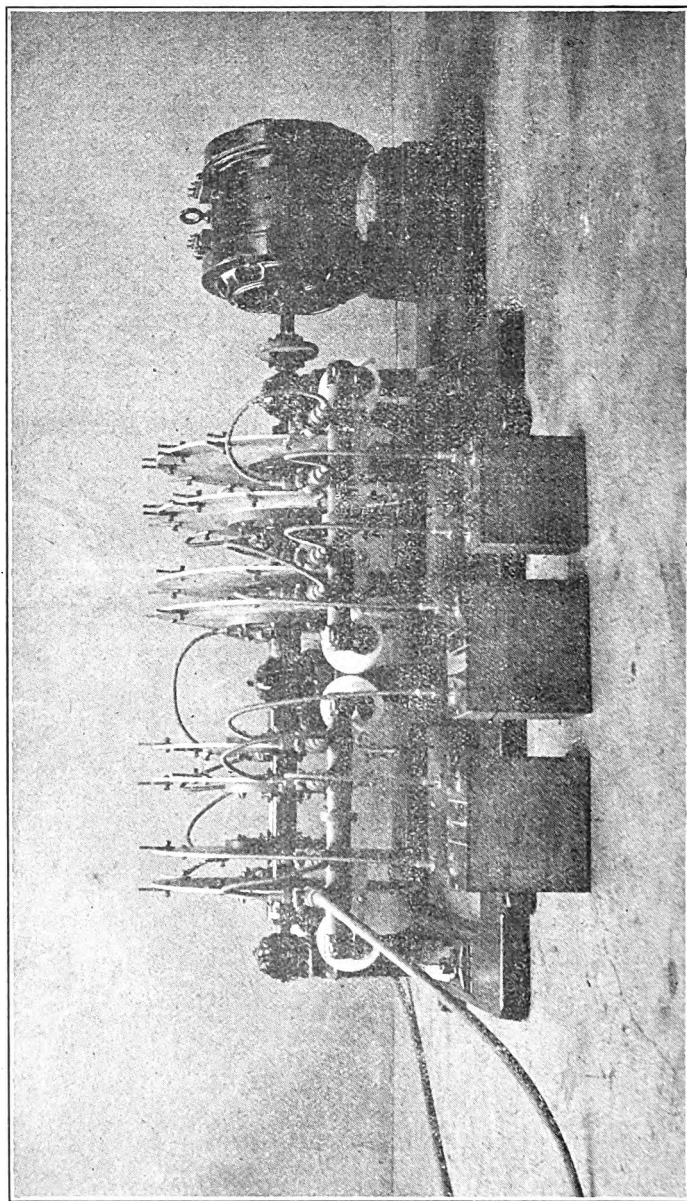


Fig. 3. — Eclateurs pour four de 80 kVA.

du primaire avec la fréquence. En effet, dans la formule donnant $\text{tg } \varphi$, intervient la résistance totale du circuit, et l'on ne peut dériver par rapport à ω sans tenir compte de la variation de cette résistance R_2 avec ω .

Il semble que le $\cos \varphi$ décroisse constamment au fur et à mesure de l'augmentation de la fréquence, comme d'ailleurs Strutt l'a montré par un calcul complet dans le cas du chauffage d'un cylindre massif.

M. BUNET. — Dans le cas de fours alimentés par condensateurs, l'étincelle à l'éclateur peut avoir une très grande résistance. J'ai dit qu'il faut s'efforcer de la réduire à une faible valeur et les bons appareils sont réputés remplir cette condition. Dans beaucoup d'appareils mal construits, on perd une puissance relativement considérable dans l'étincelle ; cette puissance perdue affecte le rendement ; elle peut contribuer à remonter le facteur de puissance.

M. GUTMANN. — Je voulais parler évidemment du facteur de puissance sur le primaire, qui intéresse seul le réseau. Or, ce circuit primaire, et par conséquent ce facteur de puissance, sont sans aucune relation avec la résistance d'étincelle qui n'intervient que dans le circuit de décharge des condensateurs. Le facteur de puissance sur ce dernier circuit est d'ailleurs, par définition, égal à 1 puisqu'il s'agit d'oscillations libres ; quant à la résistance d'étincelles, il y a évidemment intérêt à la diminuer le plus possible, mais pratiquement elle reste loin d'être négligeable.

M. BUNET. — Une étincelle prolongée entre les boules de l'éclateur ne peut-elle prendre directement de la puissance à la source de basse fréquence ? (Voir fig. 27 et 28, p. 987, *Bull.* de septembre 1928). Une résistance trop forte du circuit de basse fréquence augmente aussi le facteur de puissance.

M. GUTMANN. — Je ne pense pas qu'en pratique on introduise jamais de résistance dans le primaire.

M. BUNET. — Cette résistance existe toujours, quoi que l'on fasse.

En ce qui concerne la résistance du circuit inducteur du four lui-même, je sais parfaitement qu'elle est fonction de la fréquence et j'ai toujours tenu compte de ce phénomène dans mes calculs quand cela est nécessaire. Strutt ne se place-t-il pas dans des cas purement théoriques ?

Lorsque, comme c'est le cas souvent, l'épaisseur de l'enroulement primaire correspond à l'utilisation totale pour la fréquence d'utilisation, la résistance ne varie pas sensiblement pour toutes les fréquences inférieures.

M. GUTMANN. — Même dans les fours bien faits, la résistance de l'inducteur représente encore souvent 20 à 25 pour cent de la résistance totale.

M. BUNET. — Pour les formules du transformateur appliquées au four à induction, je suis d'avis qu'il ne faut pas donner au terme L_2 la signification d'inductance de l'enroulement secondaire, mais celle de self-inductance totale du circuit secondaire.

Ce ne serait admissible que si la puissance réactive de dispersion entre circuits était seule à compter, les autres étant négligeables devant elle; nous sommes en cela bien d'accord. Mais ce ne peut être le cas que dans certaines applications où le facteur de puissance devient extrêmement bas; ce ne l'est pas en général. La formule que je donne, équivalente à celle de Boucherot, est, en gros :

$$\text{tg } \varphi = 1 + \frac{\text{puissance réactive de dispersion}}{\text{puissance active}}$$

au lieu de

$$\text{tg } \varphi = \frac{\text{puissance réactive de dispersion}}{\text{puissance active}}$$

si l'on ne tient pas compte de $R_2\omega$.

Pour des fours industriels, on obtient $\text{tg } \varphi = 4$ à 5, on trouverait $\text{tg } \varphi = 3$ à 4 en négligeant 1. Il est déjà inutile d'introduire systématiquement cette erreur. Mais il ne faut pas oublier, d'une part, que le développement des fours à induction amènera à considérer, dans de grands fours par exemple, des valeurs plus faibles encore de $\text{tg } \varphi$ et d'autre part, que si la perméabilité est différente de 1 et devient assez élevée, ce qui se présente avec les substances magnétiques au-dessous de 800°C , mes formules, d'accord avec celles de Boucherot, indiquent que $\text{tg } \varphi$ peut se rapprocher de 1 en pratique et non pas de zéro, ce qui est tout différent : $\varphi = 45^\circ$ au lieu de 0° . On obtiendrait encore ce résultat dans les chauffages de liquides ou de substances isolantes dans un récipient de fer, solution analogue à celle que j'ai donnée aux pages 956 et 957 pour les récipients de cuivre (§ 11).

En ce qui concerne la variation du *facteur de puissance* avec la fréquence, j'ai indiqué dans les §§ 10 et 11 (voir notamment page 955,

comment ce maximum se présente dans le cas de la paroi mince sans effet Relvin appréciable. Dans le § 14, à la fin, je dis que, lorsque l'effet Relvin est prépondérant, la considération de ce maximum n'a ordinairement aucun intérêt pratique, car on arrive généralement à de basses valeurs de la fréquence pour lesquelles, au reste, les formules d'effet Kelvin ne s'appliquent plus. J'indique, dans le § 18, que le choix de fréquence doit être un compromis entre les divers facteurs, dont le prix des machines et condensateurs.

M. DUFOUR. — M. Bunet pourrait-il nous donner des indications sur le rendement des fours alimentés par des alternateurs?

M. BUNET. — Dans des installations réalisées, où se trouvent d'abord un groupe composé d'un moteur synchrone ou asynchrone de fréquence normale, actionnant un alternateur de fréquence 500 à 2000 p : s, puis des condensateurs amenant aussi une perte appréciable, à cause de la puissance réactive élevée à compenser, enfin l'enroulement primaire du four, on a donné un rendement de 0,62 environ entre la puissance absorbée à fréquence normale et la puissance dissipée en chaleur dans le secondaire du four.

M. DUFOUR résume son rapport *sur les éclateurs de fours à haute fréquence* (1).

Il ajoute : Je réponds à une remarque faite tout à l'heure. Le chiffre de 0,5 pour le facteur de puissance n'est pas un chiffre théorique, ni relevant non plus d'une moyenne expérimentale; il a été obtenu par un calcul théorique dont les données m'ont semblé voisines des données pratiques, mais la distance d'éclatement choisie dans ce calcul est pourtant plus petite que celle qu'il faudrait choisir dans la pratique, c'est pourquoi j'ai trouvé un facteur de puissance de 0,5 seulement.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. Dufour dont l'appareil présente plusieurs avantages et, en particulier, celui de permettre d'obtenir des puissances plus élevées qu'avec d'autres systèmes.

M. GUTMANN. — Je demande la permission d'ajouter quelques mots à l'intéressante communication que vient de nous faire M. Dufour. Je voudrais préciser les éléments qui font la qualité d'un éclateur pour

(1) Bulletin de la Société Française des Electriciens de septembre 1928, p. 929.

chauffage, insister sur l'éclateur tournant, enfin signaler quelques-unes des réalisations pratiques effectuées.

Le problème des éclateurs est ici notablement différent de celui qui s'est posé en T. S. F. Là, il s'agissait surtout d'avoir des étincelles pures et régulières, par trains d'ondes successifs identiques. Cette recherche de la qualité de l'étincelle primait toutes les autres considérations de rendement, de commodité ou de prix. Au contraire, elle disparaît complètement quand nous nous occupons de chauffage par induction, où aucune régularité dans les décharges n'est plus exigée. Un bon éclateur doit ici assurer :

La possibilité de réaliser de grandes puissances en haute fréquence ;

Un bon rendement, c'est-à-dire une faible résistance d'étincelle ;

Un bon facteur de puissance ;

Une utilisation industrielle commode.

C'est sous ce jour que, pour la pratique du chauffage, il convient d'examiner les différents éclateurs, en particulier l'éclateur soufflé et l'éclateur tournant. Remarquons d'ailleurs que l'éclateur soufflé proposé est un éclateur fixe, la rotation des électrodes ne jouant aucun rôle dans le régime électrique et servant seulement à assurer une meilleure répartition de l'usure.

L'éclateur tournant asynchrone, à plusieurs décharges par alternance du réseau, présente à beaucoup de points de vue de notables avantages. C'est ce type d'éclateur qu'a préconisé M. le professeur Ribaud, dont vous connaissez les travaux sur le chauffage à haute fréquence, et qu'emploie la Société générale d'applications Electro-Thermiques, qui a réalisé, croyons-nous, les plus importantes unités à haute fréquence à étincelles.

Obtention des grandes puissances. — Les résultats indiqués par M. Dufour pour l'éclateur soufflé (50 kVA monophasé) constituent certainement un succès intéressant. Si nous en analysons les causes, nous voyons que le soufflage coaxial supprime l'arc, même après des décharges importantes, qui provoquent une forte ionisation, et assure un bon refroidissement des électrodes et que la rotation des disques évite la localisation de l'étincelle et l'usure rapide des électrodes.

Or, l'éclateur tournant présente des possibilités à peu près équivalentes : le choix d'une vitesse périphérique convenable permet dans tous les cas la suppression de l'arc, suppression d'ailleurs facilitée par le véritable soufflage dû à l'entraînement d'air par la partie tournante. Celui-ci produit un refroidissement naturel des électrodes mobiles, et

les électrodes fixes peuvent être facilement refroidies, en cas de besoin, par une circulation d'eau. Rien n'empêche d'ailleurs d'utiliser pour ces dernières un disque tournant, comme l'avait fait Marconi en T.S.F., et, comme le fait M. DUFOUR, de manière à diminuer l'usure.

Dans le même ordre d'idées, M. RIBAUD a préconisé l'emploi de broches électrodes mobiles décalées, venant défilier en regard de plots fixes assez étendus pour être successivement en regard de toutes les broches. Les plots fixes sont ainsi balayés par les décharges qui ne sont plus localisées en un même point.

Enfin, on diminue l'usure et augmente la puissance réalisable en employant, pour supports des électrodes mobiles, plusieurs disques parallèles.

Dans ces conditions, l'éclateur tournant dépasse très largement la puissance de 25 kVA mentionnée, et a permis de porter à 50 kW (en monophasé) la puissance d'une installation en service industriel à l'usine de Nemours de la Société Quartz et Silice.

Il est, d'ailleurs, possible qu'une adaptation du soufflage coaxial à l'éclateur tournant soit réalisable et permette de nouveaux progrès.

Rendement. — C'est là un des éléments les plus importants du choix d'un éclateur industriel. L'absence de chiffres précis empêche, malheureusement, de faire des comparaisons qui seraient certainement très intéressantes. L'examen des résultats obtenus laisse penser que les différents types sont à peu près équivalents avec probablement un avantage en faveur de l'éclateur tournant, avec lequel le rendement du circuit à haute fréquence peut atteindre 80 pour cent. Des essais systématiques permettraient seuls de connaître l'importance de cet avantage : les résistances d'étincelle dépendent d'un grand nombre de facteurs et sont soumises à des lois extrêmement complexes très différentes pour les divers types d'éclateurs. Nous craignons toutefois, qu'un soufflage énergétique *pendant* la décharge, en diminuant l'ionisation de l'air, n'augmente la résistance de l'étincelle.

Facteur de puissance. — Le facteur de puissance des éclateurs fixes à bain de mercure est déplorable : 0,5 environ. En général, il semble que tous les éclateurs fixes aient d'assez mauvais $\cos \varphi$. Au contraire, l'éclateur tournant présente là une supériorité très notable, puisque les installations fonctionnent pratiquement avec des cosinus de 0,8 environ (0,75 à 0,9).

Avec l'éclateur tournant, on peut dire que l'on est maître de choisir

le facteur de puissance du fonctionnement. Une théorie simpliste le fera aisément comprendre. Si nous admettons (ce qui est pratiquement le cas) que la durée d'une charge est petite devant celle d'une alternance du réseau, et que, par conséquent, la charge a lieu sous tension sensiblement constante u pendant un temps θ , l'énergie emmagasinée pendant dt est $cVdV$ (V tension aux bornes des capacités).

L'intensité débitée est : $\frac{dQ}{dt} = \frac{cdV}{dt}$. D'où le facteur de puissance instantané :

$$\frac{P}{uI} = \frac{cV \frac{dV}{dt}}{uc \frac{dV}{dt}} = \frac{V}{u} = 2 \sin^2 \frac{t}{2\sqrt{a^2Lc}},$$

a^2L et c étant les constantes du circuit de charge. La valeur moyenne de cette expression sera le facteur de puissance moyen pendant la durée de la charge. Elle est égale à l'unité si :

$$\frac{\theta}{\sqrt{a^2Lc}} = \pi.$$

En réalité, le réseau ne débite pas uniquement pendant la période de charge et la question est bien plus complexe. Mais l'expérience montre que le facteur de puissance varie bien dans le même sens que $\frac{\theta}{\sqrt{a^2Lc}}$ et qu'un choix convenable des constantes permet d'obtenir d'excellentes valeurs.

Commodité d'utilisation industrielle. — Un bon éclateur devra ne pas exiger de réglages difficiles ni nombreux, et permettre le branchement sur les réseaux habituels.

Pour le premier point, M. DUFOUR paraît être arrivé à d'intéressants résultats ; il convient de noter que la question de l'usure est très complexe, et que, pour être comparables, des expériences doivent avoir été faites dans des conditions identiques. L'éclateur tournant permet des marches continues de 8 et 16 heures sans réglage ; celui-ci pouvant d'ailleurs être rendu très aisé par des dispositifs mécaniques variés, il n'y a pas là de sujétion gênante.

Il nous reste à examiner le branchement sur les réseaux : c'est là qu'apparaît, selon nous, un avantage fondamental de l'éclateur-tournant pour grandes puissances. Il semble, en effet (il serait intéressant que M. DUFOUR veuille bien nous confirmer ce point), que l'éclateur

fixe, soufflé ou non, ne permette le branchement sur réseau triphasé qu'à la condition de scinder l'enroulement du four en trois tronçons, un par phase; les inconvénients de ce dispositif sont triples : chaque tronçon est relativement court et n'enveloppe qu'une partie de la charge, d'où un mauvais couplage; il peut y avoir simultanéité de décharges dans deux fractions d'enroulement, ce qui rend possibles des contrariétés de flux, enfin, dans le cas de la fusion de charges métalliques, l'affaissement en cours de chauffage crée une dyssymétrie dans les 3 circuits de décharge. Le rendement des fours triphasés à éclateur fixe n'est donc pas très bon.

L'éclateur tournant permet, au contraire, l'emploi d'un enroulement unique pour les trois phases : le four lui-même est alors identique à un four monophasé. De nombreux montages sont possibles, qui ont fait l'objet de brevets récents. Tous reviennent à utiliser l'éclateur comme commutateur de phases : le groupe triphasé est formé en quelque sorte par la juxtaposition de 3 groupes monophasés, avec self-inductance de décharge unique. L'éclateur est constitué schématiquement par trois disques à $2n$ pointes, les disques étant respectivement décalés de $\frac{\pi}{3}$. Les passages périodiques des électrodes correspondant aux différentes phases, permettent la fermeture successive sur l'enroulement des trois circuits de décharge des condensateurs.

Le fonctionnement des installations polyphasées est alors tout à fait semblable à celui d'une installation monophasée, les trois phases sont parfaitement équilibrées et travaillent symétriquement.

L'éclateur tournant est ainsi seul à permettre l'établissement d'installations de forte puissance sur réseau polyphasé, ce qui est pratiquement très intéressant, car peu de réseaux admettent une forte charge sur une seule phase.

Résultats obtenus. — Les réalisations de fours à haute fréquence à éclateur tournant asynchrone sont actuellement nombreuses, tant au laboratoire qu'en fonctionnement semi-industriel ou industriel.

Parmi les plus importantes, je me contenterai de signaler les groupes de 75 kVA mis en service par la S.G.A.E.T. aux Aciéries Réunies de Burbach Eich Dudelange, à Dommeldange, et aux Aciéries de Firminy, où ils permettent la fusion de lingots d'essai de 50 kg environ, les groupes utilisés par la Compagnie d'Applications mécaniques (R.B.F.) pour la fusion industrielle du bronze d'aluminium.

et par la Société Quartz et Silice pour la fusion du quartz. Ils sont en service permanent, à raison de 8 et 16 h par jour, depuis plusieurs années, et donnent un fonctionnement très régulier et satisfaisant.

En terminant, je voudrais toutefois indiquer qu'il n'y a peut-être pas intérêt à établir des éclateurs de puissances supérieures à celles que je viens de citer. En effet, au delà, le chauffage par induction à haute fréquence est obtenu dans de meilleures conditions au moyen d'alternateurs à haute fréquence qui peuvent être à fréquence relativement basse (2000 et moins).

Leur fonctionnement est peut-être plus stable que celui des postes à ondes amorties; nous retrouvons là la supériorité habituelle des systèmes continus sur les systèmes discontinus. Les alternateurs permettent d'éviter les très hautes tensions nécessaires avec l'éclateur, et, du point de vue de la sécurité, tant du personnel que du matériel, il y a là un très gros avantage.

Les rendements sont très supérieurs à ceux des groupes à éclateurs, grâce à la suppression de la résistance d'étincelle. L'induction peut se faire directement dans la masse du métal, même pour les métaux de faible résistivité, ce qui facilite le choix du creuset qui n'a plus besoin d'être conducteur.

Il reste, toutefois, en faveur des éclateurs, une plus grande souplesse d'emploi en vue d'usages variés du four.

Mais, comme le prix des installations à alternateur n'est plus, aux grandes puissances, très supérieur à celui des groupes à étincelles, il semble que ces derniers doivent être réservés aux essais et aux opérations de petite production, à puissance ne dépassant pas 50 à 75 kW, et les alternateurs à haute fréquence préférés pour les installations industrielles de grande production.

Tout permet de penser que les résultats déjà obtenus dans ce sens : fours de plusieurs centaines de kg, avec alternateurs de plusieurs centaines de kW, seront largement dépassés et que le four à haute fréquence entrera très rapidement dans la pratique de la grosse industrie.

M. DUFOUR. — L'objection de M. GUTMANN relative au branchement d'un four à éclateur sur un réseau triphasé, ne serait valable que s'il était impossible de faire des fours à grande puissance à trois phases indépendantes : en réalité, les fours à cuve comportent trois éléments chauffés indépendamment par chacune des phases.

M. LE PRÉSIDENT. — Nous allons aborder maintenant la discussion du questionnaire du Comité pour l'amélioration du facteur de puissance de la Conférence des Grands Réseaux. La 6^e Section n'y a pas répondu officiellement mais plusieurs de ses membres, MM. BUNET, DARRIEUS, ILIOVICI et moi-même, lui ont communiqué le sens des réponses qu'ils avaient adressées individuellement à M. BUDEANU. Faute de pouvoir discuter la question à fond, je demanderai à ces Messieurs de résumer ici les points les plus importants de la réponse qu'ils ont faite.

M. ILIOVICI. — Dans ma réponse au questionnaire j'ai touché à peu près à toutes les questions posées, mais je ne traiterai ici que de la *question de la définition* et de celle de la *mesure* de la puissance réactive qui intéressent seules la 6^e Section.

Définition. — En ce qui concerne les définitions de la puissance réactive, j'ai rappelé celles que je propose depuis plusieurs années et qui sont de deux sortes : une *définition scientifique* et certaines *définitions pratiques*.

Je ne m'occuperai pour l'instant que de la définition scientifique, les autres auraient leur place dans l'étude des méthodes de mesures.

Dès 1918 j'ai proposé la définition ⁽¹⁾

$$(1) \quad P_r = - \frac{\omega}{T} \int_0^T \varphi i dt,$$

P_r étant la puissance réactive, ω la pulsation, T la période, i le courant et φ un flux tel qu'on ait : $u = - \frac{d\varphi}{dt}$, u étant la différence de potentiel aux bornes du circuit. Nous avons repris l'étude de cette formule en 1924 ⁽²⁾, et nous avons montré que dans les conditions habituelles, elle représente le produit par 2ω de la valeur moyenne de la différence entre l'énergie magnétique et l'énergie électrique qui oscillent dans le réseau.

En 1921, M. LIÉNARD ⁽³⁾ a proposé une autre formule qui se ramène en réalité à la formule (1) ; d'autre part M. Darrieus a signalé depuis que la grandeur :

$$\frac{1}{T} \int_0^T \varphi i dt = \frac{1}{T} \int_0^T \varphi d\eta.$$

(1) Voir *Bulletin de la Société Française des Electriciens* de mai 1918, tome VIII, 3^e série.

(2) Voir *Bulletin de la Société Française des Electriciens* de décembre 1924.

(3) Voir *Revue générale de l'Electricité*, octobre 1921.

n'est autre que *l'action* de la mécanique et il estime qu'il y aurait avantage à prendre en considération cette grandeur ou celle de la formule (1).

Remarquons que, pour les courants alternatifs non sinusoïdaux, la formule (1) donne :

$$(1') \quad P_r = \sum \frac{1}{n} U_n I_n \sin \varphi_n,$$

U_n et I_n étant les valeurs efficaces des $n^{\text{èmes}}$ harmoniques de la tension et du courant, φ_n le déphasage entre ces grandeurs.

En 1926 ⁽¹⁾ M. BUNET, en examinant les diverses formules proposées, a préconisé la suivante :

$$(2) \quad P_r' = \Sigma U_n I_n \sin \varphi_n,$$

c'est la même formule qui est proposée par M. BUDEANU dans un très intéressant travail sur « Energies réactive et fictive ».

M. BUDEANU propose aussi l'introduction d'une nouvelle notion, la *puissance déformante*, qui tiendrait compte des déformations des courbes de tension et de courant.

La formule (2) présente l'avantage de sa forme, analogue à celle de la puissance active ; elle permet d'introduire, d'une façon simple, la notion de puissance déformante, qui peut présenter un certain intérêt.

Pourtant, malgré les efforts de M. BUDEANU, il ne semble pas qu'on puisse lui donner une signification physique. D'autre part, dans l'état actuel de la technique, elle n'est pas mesurable non plus.

Il semble que le motif pour lequel la grandeur (2) ne peut avoir une signification physique est analogue à celui pour lequel elle n'est pas mesurable.

En effet, la grandeur (2) ne tient pas compte de la déformation des courbes de courant et de tension ; or, les phénomènes réactifs proviennent de l'existence, dans les circuits, de self-inductances et de capacités, celles-ci déforment les courbes de courants par rapport à celles de tension. Il semble donc que les *phénomènes réactifs ne peuvent exister sans phénomènes déformants* ; malgré que des déformations peuvent se produire sans effets de réactance.

Une grandeur qui tient compte des effets réactifs indépendamment des déformations que ceux-ci entraînent, ne peut pas représenter complètement les premiers.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité* du 6 mars 1926.

De même, pour mesurer la puissance réactive, on est amené à introduire dans les appareils de mesure de réactances, des capacités ou des circuits équivalents, il en résulte que ces appareils tiennent compte et des effets réactifs et des effets déformants qui en sont la conséquence.

La formule (1) que j'ai proposée, ou celles qui lui sont équivalentes, comportent au contraire des grandeurs physiques nettement caractérisées et mesurables, comme nous l'avons indiqué ailleurs. (1)

La grandeur qui a une signification physique nette est :

$$\frac{1}{T} \int_0^T \varphi dq,$$

ou « action », mais elle a les dimensions d'une énergie ; il convient donc de la multiplier par ω pour avoir une grandeur ayant les dimensions d'une puissance et qui se ramène à $UI \sin \varphi$ pour les courants sinusoïdaux.

En résumé, deux définitions restent en présence ; aucune d'elles ne paraît s'imposer d'une façon absolue. Je suis donc d'avis qu'il convient de laisser encore la question à l'ordre du jour... de façon que, l'attention étant de nouveau attirée sur elle, les ingénieurs puissent l'étudier et chercher si on peut arriver ou non à une définition qui caractérise nettement et sans ambiguïté les phénomènes réactifs.

Mesure. — Au point de vue pratique, une définition de la puissance réactive en courants non sinusoïdaux présente de l'intérêt dans la mesure où la grandeur définie est mesurable avec précision, en même temps que l'énergie correspondante pourra être mesurée par des compteurs simples, suffisamment précis et de préférence du type d'induction.

Or, nous avons vu plus haut que la grandeur P_r définie par la formule (2) n'est pas mesurable ; la grandeur P_e de la formule (1) peut être mesurée par un wattmètre électrodynamique dont le circuit « volts » aurait une résistance négligeable devant sa réactance. Pour réaliser cette condition on serait amené à employer des bobines de réactance à fer, ce qui n'est pas indiqué pour un appareil de précision, soit à employer des bobines volumineuses à cause de la grande section que devra présenter le cuivre.

Pour la mesure de l'énergie correspondant à P_e , on peut construire des compteurs d'induction dont le circuit « ampères » de résistance né-

(1) Voir *Bulletin de la Société Française des Electriciens* de 1924.

gligeable devant sa réactance, serait monté sur un shunt non inductif.

Il faudrait, de plus, que la consommation du circuit « ampères » du compteur soit négligeable devant celle du shunt, ce qui entraîne une forte consommation pour l'ensemble.

La situation actuelle est, en résumé, la suivante : si on adopte la formule (2), la grandeur définie et l'énergie correspondante ne sont pas mesurables, même théoriquement ; si on adopte la formule (1), on pourra faire des mesures, mais par des moyens peu pratiques.

Pour l'instant, aucune formule n'est adoptée officiellement. Quel est donc le criterium qui doit guider dans le choix des appareils de mesure et des compteurs ?

A mon avis, on doit être guidé par les considérations suivantes :

1° la grandeur qu'on mesure pour la puissance réactive doit pouvoir être mesurée avec grande précision à l'aide de wattmètres électrodynamiques, ayant subi, au besoin, des transformations qui leur laissent leurs qualités de précision.

2° Les compteurs doivent être du type d'induction et mesurer théoriquement l'intégrale de la grandeur que mesure le wattmètre. Ils doivent différer le moins possible des compteurs d'énergie active dont la construction est au point.

3° En courant sinusoïdal, les appareils doivent mesurer $UI \sin \varphi$ et $\sum UI \sin \varphi \Delta t$.

Guidé par ces considérations, j'ai proposé en 1918, qu'on utilise un wattmètre, dans lequel la résistance additionnelle est remplacée par une capacité de réactance très grande devant la résistance du cadre mobile ; l'énergie correspondante peut être mesurée à l'aide d'un compteur analogue à ceux de puissance active, mais dont le circuit « volts » a une réactance négligeable devant sa résistance.

J'ai vérifié que le wattmètre reste précis et que le compteur est aussi simple et aussi bon qu'un compteur d'énergie active (1). Le wattmètre ainsi monté mesure la grandeur :

$$(3) \quad P_r'' = \frac{1}{\omega T} \int_0^T u \, di,$$

qui se ramène à $UI \sin \varphi$ pour les courants sinusoïdaux tandis que pour les courants non sinusoïdaux, on a :

$$(3') \quad P_r'' = \sum_n U_n I_n \sin \varphi_n.$$

En réalité l'appareil mesure :

(1) Voir *Bulletin de la Société Française des Electriciens* de mai 1918.

$$\frac{1}{T} \int_0^T u \, di = \omega P_r,$$

ses indications sont donc directement proportionnelles à la fréquence.

Les compteurs sont peu influencés par la forme des courbes.

Cette méthode ne s'est pas répandue à cause de l'influence de la fréquence sur les indications des appareils; or, la tendance est au maintien de la fréquence du réseau à une valeur bien constante; donc, pratiquement, ce défaut est négligeable, d'autant plus que la précision demandée aux compteurs d'énergie réactive peut être plus faible que celle des compteurs d'énergie active.

Les exploitants ayant demandé des compteurs peu influencés par la fréquence, plusieurs constructeurs fabriquent de tels appareils; mais on a obtenu le résultat grâce à des artifices qui compliquent la construction, rendent l'étalonnage mal commode et peu précis; de plus il serait difficile de dire ce que les appareils mesurent en cas de courants non sinusoïdaux; et d'autre part on ne dispose pas de wattmètre étalon précis et mesurant théoriquement la même grandeur que le compteur,

Toutes ces conditions sont défavorables et, en cas de différence entre les indications des compteurs de type différent, il n'est pas possible de dire lequel mesure ce qui a été convenu.

Heureusement, la mesure de la puissance réactive n'est intéressante pratiquement que pour les circuits diphasés et triphasés, et, d'autre part, les tensions sont peu déséquilibrées et peu déformées. Dans ces conditions, *on peut mesurer la puissance réactive et l'énergie correspondante à l'aide de wattmètres ou de compteurs de puissance et d'énergie actives montés convenablement.*

En diphasé, on fera le montage « à tensions croisées » : chaque wattmètre aura son circuit « ampères » dans une phase et son circuit « volts » entre les fils de l'autre phase. On mesure alors la grandeur :

$$(4) \quad \pi_r = \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 i_2 - u_2 i_1) dt,$$

u_1 et i_1 étant la tension et le courant dans une phase, u_2 et i_2 pour l'autre.

En triphasé, on emploiera, en principe, trois wattmètres, le circuit « volts » de chacun se trouvant entre les deux fils des deux phases autres que celles dans laquelle se trouve son circuit « ampères » (1).

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens* de 1925.

On mesure dans ce cas :

$$(5) \quad \pi_r = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{T} \int_0^T (u_{12}i_3 + u_{23}i_1 + u_{31}i_2) dt.$$

J'ai montré que, pour les déséquilibres, supérieurs à ceux que l'on rencontre pratiquement, la différence entre les grandeurs (4), (5) et celles qu'on doit mesurer théoriquement en courant sinusoïdal est faible.

Pour ce qui concerne les courants non sinusoïdaux, vu qu'on n'est pas encore d'accord sur une définition théorique, on peut convenir de mesurer les grandeurs précédentes; d'ailleurs que l'on adopte l'une ou l'autre des définitions scientifiques en discussion, les grandeurs (4), (5) différeront peu des valeurs obtenues, parce que, dans la pratique, les tensions sont peu déformées.

Cette façon de voir, qui est acceptée actuellement en France par un grand nombre d'ingénieurs, a l'avantage de rendre la situation nette; *on sait ce qu'on veut mesurer et on le mesure par les mêmes wattmètres et compteurs que l'énergie active.*

J'ai indiqué des méthodes donnant exactement les mêmes résultats à l'aide de deux wattmètres seulement.

La Compagnie des Compteurs construit des compteurs basés sur ces principes et qui sont très répandus en France; elle construit aussi une « boîte additionnelle » qui permet, avec les mêmes deux wattmètres, de vérifier le compteur d'énergie active et celui d'énergie réactive d'une installation, sans changer le montage.

La méthode préconisée a donc, en outre, l'avantage pratique de simplifier la vérification des compteurs chez les abonnés et de réduire le nombre d'appareils à transporter.

M. DARRIEUS. — Tout à fait d'accord en principe avec MM. LIÉNARD et ILIOVICI, dont les deux définitions, au fond, coïncident, je crois qu'il faut aller un peu plus loin et considérer que si la fréquence s'introduit dans la définition de la grandeur que nous cherchons à définir sous le nom de puissance réactive, il ne s'agit là que d'une fréquence conventionnelle, simple facteur d'ordre. La définition de M. ILIOVICI fait, en effet, apparaître en l'intégrale :

$$\int \Phi i dt$$

la véritable grandeur physique fondamentale « l'action » de la physique théorique, dont la considération directe affranchit des difficultés que suscite l'intervention parasite de la fréquence.

En effet, la quantité d'électricité $dq = i dt$, n'est autre que la diffé-

rentielle de la variable généralisée q , tandis que le flux correspondant qui, dans un circuit sans résistance, est égal à l'impulsion de la force électromotrice d'induction : $\Phi = - \int e dt$, représente la quantité de mouvement correspondante (état électrotonique du circuit, de FARADAY, ou quantité de mouvement électrocinétique de MAXWELL).

Une autre expression de cette « action » $\int p dq$ est $2 \int (T - U) dt$, où T et U (W_m et W_e suivant les notations de M. BUDEANU) représentent les énergies cinétiques, ou magnétique et potentielle ou électrique, du système.

Or, sans étudier davantage un outil de calcul qui, pour nous, électrotechniciens, serait un peu disproportionné à nos besoins, nous devons quand même retenir, de cette rencontre avec un domaine que les besoins de la mécanique analytique (mécanique céleste et physique théorique moderne), ont porté à un développement considérable l'indication que dans cette direction se trouve une voie très sûre, qui est probablement la seule dans laquelle la théorie puisse se poursuivre sans difficultés de principe.

Le facteur ω est donc un facteur parasite qui n'a d'autre but que de ramener la quantité à considérer à être homogène à une puissance. Comme je l'ai déjà dit, l'expression $\omega L I^2$ de la puissance réactive d'une bobine d'inductance est paradoxale, car il n'est pas correct qu'une grandeur physique dont le signe doit être essentiellement défini, comporte au premier degré un facteur susceptible de changer de signe, comme par exemple dans l'alimentation d'une inductance par un alternateur monophasé dont la vitesse et la fréquence varieraient d'une manière continue entre $+50$ et -50 périodes par seconde, avec passage par zéro et inversion du sens de rotation.

Lorsqu'il y a des enroulements en mouvement comme dans une machine d'induction, c'est un fait depuis longtemps familier aux inventeurs (BLONDEL, BOUCHEROT, LEBLANC, LATOUR, etc...) que les puissances réactives ne se conservent en passant du rotor au stator, que si elles sont divisées par les fréquences.

En résumé, l'énergie $\frac{1}{2} L I^2$ est plus fondamentale que $\omega L I^2$; et ce n'est que pour la commodité des calculs qu'on a introduit ω .

Au point de vue pratique enfin, si nous possédons des compteurs pratiques qui ne soient pas indépendants de la fréquence, nous ne devons pas leur en faire un grief, puisqu'en principe, la manière dont

la puissance réactive dépend de la fréquence ne paraît pas fondée scientifiquement.

D'ailleurs si la tarification est censée correspondre à la gêne qu'apporte au réseau la puissance réactive, cette gêne dépend plutôt de $\frac{UI \sin \varphi}{\omega}$ que de $UI \sin \varphi$.

Si, par exemple, la fréquence augmente la nuit par négligence, le maintien de la même tension n'exige plus qu'un flux et une excitation moindres, ce qui permet au matériel en service dans la centrale de produire une puissance plus élevée.

Enfin, au point de vue du fonctionnement des machines, puisque le quotient $E : \omega$ représente le flux Φ et que ce dernier est en quadrature avec la tension, l'élimination de la fréquence présente l'avantage de substituer au produit vectoriel $EI \sin \varphi$ qui soulève des questions délicates de sens et de signe, le produit scalaire $\Phi I \cos \varphi$ du flux par les ampères tours, dont l'interprétation physique est beaucoup plus fondamentale.

M. ILIOVICI. — Les wattmètres avec bobines de réactance en série mesurent en fait l'action et non la puissance réactive.

M. DARRIEUS. — M. ILIOVICI a indiqué une autre solution pour les compteurs d'induction, ce serait de conserver le circuit tension et de monter le circuit intensité sur un shunt résistant; on trouverait sans doute ainsi beaucoup d'autres solutions, et si, suivant M. BUDAÏ, la possibilité de mesure ne constitue pas un critérium absolu, c'est quand même une indication à ne pas négliger.

M. GIRAULT. — Je n'ai suivi que d'assez loin les discussions relatives à la notion de puissance réactive. J'ai cependant dans le souvenir la remarquable étude de généralisation présentée ici même, par M. PESTARINI, en mars 1914. D'autre part, il semble bien que les opinions actuelles en ce qui concerne la définition de la grandeur à envisager dans la tarification, se rassemblent autour de deux conceptions que nous pouvons caractériser par les symboles :

$$\sum P_{rn} \quad \text{et} \quad \sum \frac{P_{rn}}{n},$$

avec :

$$P_{rn} = U_n \cdot I_n \cdot \sin \varphi_n.$$

P_{rn} , U_n , I_n , φ_n , désignent respectivement la puissance réactive, la

tension efficace, le courant efficace et l'angle de déphasage qui correspondent à l'harmonique de rang n .

Afin de trancher entre ces deux conceptions, nous examinerons une observation de M. BUNET, rappelée de la manière suivante à la page 22 du questionnaire sur le problème de la puissance réactive :

« b) *Définition conforme à la conception* (Question 1).

« M. BUNET se prononce pour une définition sous la forme suivante :

$$P_r = \Sigma V_n \cdot I_n \cdot \sin \varphi_n.$$

« M. BUNET arrive à cette définition après avoir discuté les autres « définitions plus haut indiquées. M. BUNET montre très judicieusement, que si le régime non sinusoïdal se réduit particulièrement au « régime sinusoïdal correspondant à l'harmonique de l'ordre n , la « puissance réactive, suivant ces définitions, se réduirait à l'expression :

$$P_r = \frac{1}{n} \cdot V_n I_n \cdot \sin \varphi_n, \text{ au lieu de } P_r = V_n \cdot I_n \cdot \sin \varphi_n$$

« conformément à la conception des régimes sinusoïdaux et à la définition qu'il préconise ».

Cette observation de M. BUNET suppose que l'énergie réactive a même valeur d'immobilisation de matière ou de facturation quelle que soit la fréquence; nous allons voir que cette hypothèse est inexacte.

En effet, afin de fixer les idées sur ce point dans le cas des générateurs de puissance réactive les plus simples, proposons-nous de déterminer si la valeur de l'énergie réactive fournie par une inductance ou une capacité pures (sans pertes), varie en fonction de la fréquence; les valeurs efficaces U et I de la tension et de l'intensité sont supposées sinusoïdales, de pulsation $\omega = 2\pi f$, f étant la fréquence.

Dans ces deux cas, $\sin \varphi = 1$ au signe près, et la puissance réactive est :

$$P_r = U \cdot I.$$

L'énergie réactive, définie comme intégrale de P_r par rapport au temps est :

$$W_r = \int P_r \cdot dt.$$

Soit d'abord une inductance pure de $\mathcal{N}$ spires entourant un noyau de section s constante, de longueur l , de volume $V = s \cdot l$, de perméabilité μ , de réluctance :

$$\mathcal{R} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}.$$

Le flux maximum est $\Phi_{\max}$, l'induction maxima :

$$\mathcal{B}_{\max.} = \frac{\Phi_{\max.}}{s}$$

Nous pouvons écrire immédiatement :

$$U = \frac{\mathcal{N} \cdot \omega \cdot \Phi_{\max.}}{\sqrt{2}},$$

$$\Phi_{\max.} = \frac{4\pi\mathcal{N} \cdot I \cdot \sqrt{2}}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}};$$

d'où

$$I = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s} \cdot \frac{\Phi_{\max.}}{4\pi\mathcal{N} \cdot \sqrt{2}}.$$

La puissance réactive absorbée P_r est donc donnée ici par :

$$P_r = U \cdot I = \frac{\omega \cdot \mathcal{B}_{\max.}^2 \cdot s \cdot l}{8\pi\mu} = \frac{\omega \cdot \mathcal{B}_{\max.}^2 \cdot V}{8\pi\mu}$$

Comme il fallait s'y attendre, cette puissance réactive est proportionnelle : d'une part, à l'énergie maximum qui peut être emmagasinée dans le noyau et d'autre part à la fréquence f .

On tire de la dernière équation :

$$V = \frac{8\pi\mu}{\mathcal{B}_{\max.}^2} \cdot \frac{P_r}{\omega},$$

c'est-à-dire que, à égalité de $\mathcal{B}_{\max}$, le volume du fer, matériel actif, et très sensiblement la dépense nécessaire pour obtenir une même puissance réactive sont inversement proportionnels à la fréquence f .

Pour récupérer cette dépense, on devrait avoir une taxation de l'énergie réactive inversement proportionnelle à la fréquence, ou, autrement dit, on devrait soumettre au tarif l'intégrale par rapport au temps de la grandeur $\frac{P_r}{f}$.

Prenons, d'autre part, le cas d'un condensateur sans pertes, de surface s , de distance entre armatures d , de volume de diélectrique $V = s \cdot d$, de pouvoir inducteur spécifique k ; sa capacité C est :

$$C = \frac{k \cdot s}{4\pi d}$$

Le courant efficace est :

$$I = \omega \cdot C \cdot U.$$

Le flux électrique maximum est $\varphi'_{\max}$, l'induction maxima $\mathcal{B}'_{\max}$:

$$\mathcal{B}'_{\max.} = \frac{\varphi'_{\max.}}{s}$$

Si q est la quantité d'électricité instantanée sur une armature, i et φ' le courant et le flux au même instant :

$$\varphi' = 4\pi q,$$

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{d\varphi'}{dt};$$

d'où :

$$I = \frac{\omega \cdot \varphi'_{\max.}}{4\pi\sqrt{2}}$$

D'autre part :

$$U = \frac{q_{\max.}}{\sqrt{2} \cdot C} = \frac{\varphi'_{\max.}}{4\pi\sqrt{2} \cdot C}.$$

La puissance réactive est donc ici :

$$P_r = U I = \frac{\omega \cdot b'^2_{\max.} \cdot s \cdot d}{8\pi k} = \frac{\omega \cdot b'^2_{\max.} \cdot V}{8\pi k}$$

On trouve encore que la puissance réactive P_r est proportionnelle à l'énergie maximum emmagasinée dans le diélectrique et à la fréquence f .

On tire de la dernière équation :

$$V = \frac{8\pi k}{b'^2_{\max.}} \cdot \frac{P_r}{\omega},$$

c'est-à-dire que, à égalité de $b'_{\max.}$, le volume de l'isolant, matériel actif, et très sensiblement la dépense, nécessaires pour obtenir une même puissance réactive P_r , sont inversement proportionnels à la fréquence f .

On peut donc dire pour les deux cas envisagés, que l'énergie réactive doit être *pesée* de façon différente suivant la fréquence, sa valeur étant proportionnelle à l'intégrale de $\frac{P_r}{f}$ par rapport au temps.

Pour préciser sous une forme commerciale, nous dirons qu'une quantité donnée d'énergie réactive vaut, à 50 périodes par seconde, deux fois moins cher qu'à 25.

Il y a donc lieu d'ajouter à la désignation de la grandeur d'une puissance réactive ou d'une énergie réactive, l'indication de la fréquence.

Par extension de ce résultat aux alimentations non sinusoïdales, la taxation dans le cas général devrait porter sur l'intégrale par rapport au temps de la somme :

$$\sum \frac{U_n \cdot J_n \cdot \sin \varphi_n}{n},$$

n désignant le rang d'un quelconque des harmoniques d'une fréquence de référence à spécifier et qui sera, en pratique, la fréquence d'alimentation.

L'article de M. PESTARIN, actuellement en cours dans la revue

« *Electricité et Mécanique* » montre, croyons-nous, d'une façon tout à fait précise, la légitimité de cette extension.

Définissant, dans le cas général, la puissance réactive par la dernière expression ci-dessus et l'énergie réactive par l'intégrale de cette puissance réactive par rapport au temps, ces deux grandeurs sont mesurables par des appareils du type de celui décrit par M. PESTARINI, en mars 1914, dans le *Bulletin de la Société Internationale des Electriciens*.

Il y a lieu d'insister sur ce point que les variations d'indication de ces appareils du fait de la fréquence, sont normales et ne sauraient être considérées comme des inexactitudes.

M. BRYLINSKI. — Etant donné l'heure, je serai très bref et supprimerai tous les intermédiaires. Je voudrais dire en deux mots comment je conçois la notion d'élargissement de la puissance réactive dans le cas des courants non sinusoïdaux. Je ne m'embarquerai pas dans des théories scientifiques, je resterai dans des considérations terre-à-terre.

En courant sinusoïdal, il n'y a pas d'hésitation. La puissance apparente a deux composantes bien connues : la puissance active qui est : $EI \cos \varphi$ et la puissance réactive qui est $EI \sin \varphi$. Il n'y a pas à revenir là dessus. Par conséquent, on a :

$$p_{app}^2 = p_a^2 + p_r^2.$$

Il me semble que la manière la plus simple de généraliser est de garder cette définition pour le cas des courants non sinusoïdaux : je m'étais borné là à la Sixième Section ; depuis, M. BUDEANU a fait une analyse très pénétrante de cette question et il semble qu'on peut aller plus loin en suivant sa voie. Je signale ici que j'emploie des dénominations différentes des siennes, car la puissance fictive ne me semble pas une très bonne expression. Cette puissance, que j'appelle réactive, peut être décomposée en deux composantes rectangulaires dont l'une est la puissance résultant des self-inductances et des appareils qui déphasent le courant sans le déformer, et l'autre, la puissance résultant des appareils qui déforment le courant sans le déphaser, par conséquent, on peut écrire :

$$p_r^2 = p_{os}^2 + p_d^2,$$

si on appelle oscillante la première des puissances, celle qui déphase le courant sans le déformer.

Au lieu d'avoir, comme dans le cas sinusoïdal, deux composantes à angle droit, on a trois composantes, on a une formule symétrique :

$$p_{app}^2 = p_a^2 + p_{os}^2 + p_d^2.$$

Je n'insiste pas sur le travail de M. BUDEANU, qui l'exposera sûrement un jour ou l'autre, peut être aujourd'hui même. Je me bornerai à signaler son très vif intérêt.

M. TOURNAYRE. — Je voulais dire seulement que la réponse de notre président, M. LIENARD au questionnaire me semble parfaite. La puissance réactive est une notion qui n'a rien de physique et qu'on ne peut pas interpréter dans le cas général. Au point de vue tarification, les usagers sont ennuyés de voir un appareil dénommé compteur d'énergie réactive ; il vaudrait mieux leur dire : c'est un appareil qui sert à mesurer le facteur de puissance et surtout ne pas chercher un nom d'unité.

M. BUDEANU. — Je crois que tout le monde est d'accord sur le rapprochement qui existe entre la notion de puissance réactive et les énergies des champs magnétiques et électriques, dont je noterai les valeurs moyennes par W_m et W_e . Etant donné le caractère fondamental et physique de ces énergies, on a été tenté d'attribuer à la grandeur $W = W_m - W_e$ la *seule* réalité physique de la notion de puissance réactive. Sans oser contester le caractère physique de la *valeur moyenne des énergies W_m et W_e* , je ne crois pas pourtant, que la notion $W = W_m - W_e$ puisse se substituer à celle de la *puissance réactive*, pour caractériser le régime réactif qui nous préoccupe. D'ailleurs, remarquons tout de suite que, physiquement, les deux énergies W_m et W_e ne sont pas de signe contraire : elles sont toutes deux positives.

L'énergie des champs magnétiques et électriques existe aussi dans le cas des courants continus, et même en régime alternatif, une même grandeur $W = W_m - W_e$ peut nous conduire à différents régime réactifs et par conséquent à différentes puissances réactives, suivant le régime d'oscillations des énergies W_m et W_e . D'une manière générale, la notion $W = W_m - W_e$ ne nous donne *aucune indication* sur son oscillation et c'est justement le régime de variation oscillatoire des énergies W_m et W_e qui produit les phénomènes réactifs que nous devons caractériser.

Passons ensuite à la question de la définition de la puissance réactive.

Tout d'abord, en régime sinusoïdal, je crois que la question est suffisamment précisée par la définition $P_r = VI \sin \varphi$ aujourd'hui officiellement reconnue.

En régime non sinusoïdal, nous nous trouvons en face de plusieurs conceptions résumées par les définitions

$$P_r = 2\omega W \quad \text{et} \quad P_r = \Sigma P_{rn} = \Sigma V_n I_n \sin \varphi_n.$$

La première de ces conceptions envisage la puissance réactive comme le produit de la grandeur $W = W_m - W_e$, et du facteur 2ω ; elle résume les définitions données par MM. LIENARD et ILIOVICI.

Sous cette forme, elle a les dimensions d'une puissance et elle a, de plus la propriété de se réduire à la définition officielle :

$$VI \sin \varphi$$

dans le cas d'un régime sinusoïdal monophasé.

Quel sens attribue-t-on au facteur ω dans le cas le plus général?

Sous un premier aspect, on considère le facteur comme un simple facteur d'ordre; ce point de vue correspond aussi à la conception de M. DARRIEUS. Mais, dans ce cas, on multiplie une notion physique très précise, par un facteur d'ordre conventionnel; la définition à laquelle on est conduit a, par suite, un caractère plutôt conventionnel et dès qu'on glisse sur la pente des notions conventionnelles, on peut en trouver aussi d'autres. De pareilles notions peuvent être commodes quelquefois. Je crois même qu'elles peuvent être employées dans certains cas particuliers, si elles se prêtent plus facilement à la mesure, mais à la condition de leur attribuer leur vrai caractère et de préciser leur champ d'utilisation. Mais, pour le moment, nous nous préoccupons des définitions qui doivent s'imposer par des considérations théoriques et non des définitions conventionnelles.

Un autre aspect de la même définition consiste à considérer le facteur ω comme caractérisant la *pulsation du régime non sinusoïdal* envisagé. Sous cette forme, le facteur ω aurait une signification plus physique. Maintenant une autre question se pose : Peut-on parler théoriquement de la *pulsation d'un régime non sinusoïdal*?

Il est vrai que l'on peut toujours parler de la période T et par conséquent de la fréquence $f = \frac{1}{T}$ d'un phénomène périodique non sinusoïdal, puisqu'elle est définie seulement par la différence de temps entre le commencement et la fin de chaque période du phénomène, sans se préoccuper de son mode de variation pendant la durée T .

M. le PRÉSIDENT. — Il suffit de remplacer ω par $\frac{2\pi}{T}$.

M. BUDEANU. — Je le sais, mais cela resterait une convention. Théoriquement, la notion de pulsation $\omega = \frac{2\pi}{T}$ n'apparaît que dans des régimes sinusoïdaux. Dès qu'il s'agit d'un régime non sinusoïdal quelconque :

$$u = \sqrt{2} U_1 \sin(\omega t - \psi_1) + \sqrt{2} U_3 \sin(3\omega t - \psi_3) + \dots,$$

on ne retrouve que les pulsations $\omega, 3\omega \dots$ des ondes sinusoïdales élémentaires. Rigoureusement, on ne peut parler que des pulsations de l'onde fondamentale et des harmoniques. Il n'y a pas de formule fondamentale dans la technique des régimes non sinusoïdaux, où on trouverait la notion de la pulsation correspondante. On peut définir même en régime non sinusoïdal, si l'on veut, un facteur $\omega = \frac{2\pi}{T}$, mais il devient conventionnel.

Toutes les notions, qui sont fonctions directes de la pulsation ne se retrouvent pas d'ailleurs non plus en régime non sinusoïdal. C'est le cas, par exemple, des réactances $Ln\omega$, $\frac{1}{nC\omega}$. Ces notions appartiennent exclusivement à la technique des régimes sinusoïdaux. En régime non sinusoïdal, on ne peut parler que des réactances des ondes fondamentales et des différents harmoniques. La situation est identique pour la notion de la pulsation ω , et c'est pourquoi je crois que cette notion pourrait être envisagée en régime non sinusoïdal que sous la forme d'un facteur conventionnel.

On a cherché aussi à attacher à la notion ω une autre signification physique dans le cas d'un régime non sinusoïdal en identifiant cette notion à la vitesse de l'alternateur produisant la force électromotrice non sinusoïdale.

Ce rapprochement paraîtrait intéressant, mais rappelons que la pulsation n'est pas seulement la vitesse angulaire de la génératrice; elle est le produit de la vitesse de la machine par le nombre des paires de pôles à répartition sinusoïdale.

S'il s'agit d'un flux à répartition non sinusoïdale, il peut être envisagé comme la superposition de plusieurs flux à répartition sinusoïdale et à différents nombres de paires de pôles et nous retrouvons encore les différentes pulsations des harmoniques.

De même, on pourrait obtenir la même force électromotrice non sinusoïdale, par un certain nombre d'alternateurs en série, chacun à une seule paire de pôles à répartition sinusoïdale mais tournant à des vitesses différentes, et correspondant aux différents harmoniques du

régime. Dans ce cas, quelle est celle de ces différentes vitesses qui devrait correspondre à la pulsation de régime sinusoïdal ?

Pour conclure, je crois que le facteur ω , en régime non sinusoïdal, ne peut être rigoureusement envisagé que sous la forme d'un facteur d'ordre et par conséquent conventionnel. La puissance réactive à son tour, définie sous la forme $P_r = 2\omega W$, prend aussi une signification plutôt conventionnelle.

D'ailleurs, la définition $P_r = 2\omega W$ pourrait prêter à des interprétations équivoques dans certains cas particuliers.

Soit, en effet, une tension non sinusoïdale à deux termes

$$u = \sqrt{2} U_1 \cos(\omega t - \psi_1) + \sqrt{2} U_3 \cos(3\omega t - \psi_3),$$

sur laquelle nous branchons, en parallèle, une capacité et une self-inductance en résonance sur la pulsation ω de l'onde fondamentale. Le courant sera formé seulement de l'harmonique 3.

$$i = \sqrt{2} I_3 \sin(3\omega t - \psi_3).$$

Nous avons donc, en présence, une tension à deux termes à la pulsation fondamentale ω et un courant à la pulsation 3ω . Laquelle de ces deux pulsations doit-on introduire dans la définition générale de la puissance réactive aux bornes de u , si elle est exprimée par $P_r = 2\omega W$?

On me répondra que l'on pourrait *convenir* d'adopter toujours la pulsation de la tension pour l'introduire dans l'expression de P_r . Remarquons tout de suite que ce serait là une nouvelle convention et remarquons, surtout, que dans ce cas, c'est seulement le terme 3 qui nous donne une puissance réactive.

Il serait donc illogique d'écrire, dans ce cas, la puissance réactive en multipliant l'énergie W , qui correspond uniquement à l'harmonique 3, par la pulsation ω du terme fondamental de la tension, qui ne donne rien comme puissance réactive. Le terme fondamental de la tension ne fait, dans ce cas que « déformer » la variation de l'énergie intrinsèque instantanée, il introduit aussi une puissance fictive, mais d'une autre nature, pour laquelle j'ai proposé la dénomination de « puissance déformante ».

Pour toutes ces considérations il me semble que la notion de puissance réactive doit être définie de telle sorte qu'elle puisse devenir dans ce cas particulier :

$$P_r = 2(3\omega)W = U_3 I_3$$

expression résultant de la multiplication de l'énergie W — dont la

valeur moyenne appartient dans ce cas uniquement à l'harmonique 3 — par la pulsation 3ω du même harmonique.

Nous retrouvons aussi la confirmation suivante de ce point de vue. Admettons que les tensions U_1 et U_3 soient égales et que nous arrangerions la capacité C et la self-inductance L pour arriver à deux régimes successifs de résonance, l'un sur la pulsation ω et l'autre sur la pulsation 3ω , mais conduisant toujours à la même valeur de l'énergie $W = W_m - W_e$, en faisant abstraction du signe.

En adoptant, pour la puissance réactive, l'expression générale :

$$P_r = 2\omega W,$$

elle nous conduirait à une même valeur absolue pour les deux cas et pourtant le courant I mesuré à l'ampèremètre, courant effectivement réactif, serait trois fois plus grand dans le premier que dans le second cas, résultat parfaitement concordant avec les expressions des puissances réactives sous la forme $V_3 I_3$ et $V_1 I_1$ dans les deux cas envisagés.

Enfin, la notion $P_r = 2\omega W$ ne nous explique pas *toute* la différence entre la puissance apparente et la puissance réelle dans le cas d'un régime non sinusoïdal.

Avant de préciser la définition générale de la puissance réactive, je crois qu'il serait nécessaire de préciser, tout d'abord, les conditions auxquelles cette définition doit satisfaire, pour qu'elle soit acceptable.

A mon avis, les principales conditions de la définition de la puissance réactive doivent être les suivantes :

a) En régime non sinusoïdal, la puissance réactive devrait s'exprimer symétriquement par rapport aux puissances réactives élémentaires de chaque harmonique $U_n I_n \sin \varphi_n$. Je crois que cette condition est un des plus sérieux arguments en faveur de l'expression $\sum U_n I_n \sin \varphi_n$, ce qui a été mis en évidence par M. LIÉNARD. Cette condition est d'ailleurs satisfaite par toutes les notions physiques concernant le régime non sinusoïdal, telles que : tension, courant, puissance réelle, énergie des champs magnétiques et électriques. Il n'y a pas de motif pour que la puissance réactive ne satisfasse pas à cette condition.

b) Suivant la remarque fort intéressante de M. BUNET, si un régime non sinusoïdal se réduit, en particulier, au régime sinusoïdal de l'harmonique de l'ordre n , la puissance réactive doit se réduire à l'expression $U_n I_n \sin \varphi_n$ et non à des expressions telles que :

$$\frac{1}{n} U_n I_n \sin \varphi_n \quad \text{ou} \quad n U_n I_n \sin \varphi_n.$$

D'une manière plus générale encore l'expression de la puissance réactive devrait se réduire à :

$$U_n I_n \sin \varphi_n = 2n\omega W_n$$

lorsque la moyenne de l'énergie $W = W_m - W_e$ totale se réduit à l'énergie W_n de l'onde correspondante.

c) La notion de puissance réactive ne doit pas se résumer à une définition de sa grandeur; elle doit faire partie d'une méthode générale théorique d'investigation fondée justement sur la décomposition de la puissance apparente en ses éléments. Je fais ici allusion à la généralisation du principe indiqué par M. BOUCHEROT, en régime sinusoïdal, sur la méthode, vraiment très intéressante, concernant la décomposition de la puissance apparente en puissance réelle et en puissance réactive.

Spécialement, la définition de la puissance réactive en régime non sinusoïdal doit être en concordance avec le principe que les lois fondamentales (OHM, KIRCHOFF, etc...) sont applicables en régime non sinusoïdal à chaque harmonique particulier.

De même, je crois que la notion de la puissance réactive doit être établie dans le cadre général de la puissance apparente et surtout dans le cadre de toutes les puissances fictives, qu'un régime non sinusoïdal met en jeu.

d) L'expression de la puissance réactive doit être invariante par rapport à l'infinité d'hypothèses possibles sur la constitution du réseau pour une même valeur et une même constitution de I et U et pour une même situation réciproque de ces deux grandeurs.

e) Enfin, la puissance réactive est conservatrice à l'intérieur d'un même réseau dépourvu de contacts mobiles, car toutes ses composantes élémentaires se conservent dans ce cas. D'ailleurs tout le monde est d'accord sur ce point et toutes les définitions se ramènent à ce principe.

En admettant ces conditions je crois, suivant ce que j'ai montré dans mon étude, que la seule grandeur qui s'impose pour caractériser le régime réactif d'un régime non sinusoïdal est

$$\Sigma U_n I_n \sin \varphi_n.$$

Il est vrai que cette grandeur, dans l'état actuel de la technique, n'est pas facilement mesurable en pratique, mais il est tout aussi vrai que les possibilités de mesure de la grandeur $P_r = 2\omega W$ ont été pratiquement abandonnées.

M. ILIOVICI. — Parce que cela amène à des appareils trop grands.

M. BUDEANU. — Je parle des applications de la pratique industrielle.

Pour les besoins de la pratique courante, on peut très bien se servir de la méthode ingénieuse employée par M. ILIOVICI concernant l'utilisation des appareils de grandeurs réelles montés convenablement suivant l'expression :

$$P_r = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{T} \int_0^T (u_{12}i_3 + u_{23}i_1 + u_{31}i_2) dt$$

mais seulement à la condition de ne pas attribuer à cette expression le caractère d'une définition. On pourrait lui attribuer seulement le caractère d'une méthode de mesure applicable dans certains cas, cette méthode n'étant rigoureuse que si le régime des tensions est sinusoïdal et équilibré. Il faut bien préciser aux jeunes ingénieurs, à mon avis, le caractère de cette méthode ; et c'est aux prescriptions réglementaires qu'il appartient de définir la limite de ce que l'on doit entendre par régime sinusoïdal et par régime équilibré et par conséquent la limite de l'utilisation rigoureuse de cette méthode de mesure.

Dans la plupart des cas des applications industrielles, ces conditions sont pratiquement réalisées, de sorte que le champ d'utilisation de cette méthode peut être heureusement assez étendu et même, si ces conditions ne sont plus rigoureusement réalisées, c'est la considération de mesure des erreurs admissibles qui nous indiquera les limites de l'utilisation pratique de la méthode.

Mais j'insiste sur ce point que l'expression :

$$P_r = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{T} \int_0^T (u_{12}i_3 + u_{23}i_1 + u_{31}i_2) dt,$$

n'est pas une définition, mais seulement une méthode et que d'ailleurs, dans le cas le plus général d'un régime déformé et déséquilibré, elle n'est pas toujours conservative.

M. LE PRÉSIDENT. — Cette expression suppose essentiellement un courant triphasé.

M. BUDEANU. — Même en courants triphasés elle n'est pas toujours conservative.

Enfin, j'ajoute que l'étude de la grandeur $\sum U_n I_n \sin \varphi_n$, a mis en évidence l'apparition d'une autre puissance fictive, de nature déformante, que j'ai appelée « puissance déformante ». Je n'insiste pas du tout sur la dénomination même, ce n'est pas à moi d'ailleurs d'intro-

duire de nouvelles expressions dans le vocabulaire électrotechnique français; c'est seulement la notion même qui m'intéresse.

En adoptant cette nouvelle notion de puissance fictive à côté de la puissance réactive, on arrive à la notion de puissance fictive totale, qui explique *toute* la différence entre la puissance apparente et la puissance réelle, ce qui pourrait nous être utile dans toutes les circonstances où cette notion de *puissance fictive totale* nous intéresse et on retrouve aussi la généralisation de la décomposition de la puissance apparente dans ses composantes : active, réactive et déformante.

Je n'ai pas la prétention d'avoir épuisé cette question dans mon étude. Evidemment, on doit encore expérimenter cette méthode avant d'arriver à des conclusions définitives. J'ai essayé de l'appliquer quelquefois et j'ai même donné dans mes études quelques exemples de ces applications. Ainsi, par exemple, en appliquant cette méthode au problème de la propagation en régime non sinusoïdal, on arrive à montrer directement que tous les harmoniques se propagent indépendamment l'un de l'autre : on retrouve, pour chaque harmonique, le système connu d'équations de M. BOUCHEROT. Je ne sais pas si cette propriété a été démontrée d'une autre manière, mais, en tout cas, elle nous montre que le principe de la décomposition en puissance active, réactive et déformante, pourrait être utilement employé quelquefois comme une méthode d'investigation.

M. LE PRÉSIDENT. — J'aurais plusieurs observations à présenter, mais je désire être court et noterai seulement les points suivants :

Je considère toutes les définitions proposées pour la puissance réactive en courants non sinusoïdaux comme conventionnelles, même celle que j'avais proposée en 1921 et qui coïncide avec une des deux définitions proposées par M. ILIOVICI. Je reconnais la valeur de certaines objections présentées par M. BUDEANU aux définitions de M. ILIOVICI et à la mienne, mais j'estime que la définition que préconise M. BUDEANU n'est pas moins conventionnelle et je ne vois aucune raison de l'adopter de préférence à toute autre.

J'ai exposé à la 6^e Section pourquoi on ne peut, à mon avis, considérer la puissance réactive comme correspondant aux oscillations de l'énergie intrinsèque. M. BUDEANU a opposé à ma manière de voir des objections qui ne me paraissent nullement convaincantes.

Par contre, j'avais cru trouver un exemple mettant en défaut les théories de M. BUDEANU sur ce qu'il appelle la puissance déformante.

M. BUDEANU a montré que j'avais oublié de tenir compte d'un terme dont la présence supprime la difficulté signalée.

L'objection que j'avais faite sur ce cas particulier n'est donc pas valable. J'ai cependant une remarque à faire sur ce sujet : si la notion de puissance déformante introduite par M. BUDEANU se présente comme très intéressante au point de vue qualitatif, il manque par contre une justification de l'expression quantitative qui en est donnée.

Rien n'indique qu'on ne puisse trouver des expressions différentes, bien que satisfaisant aux quelques conditions générales imposées.

Et s'il existe d'autres expressions admissibles, comme je le pense, il resterait à examiner si l'une de ces expressions se montre plus intéressante que les autres pour les besoins de la pratique. Il y a là toute une étude supplémentaire à faire.

M. ILIOVICI résume son rapport *sur un dispositif permettant d'obtenir les composantes symétriques des courants, des tensions ou des puissances dans un système polyphasé sans l'emploi de filtres* (1).

M. DARRIEUS. — Je voudrais signaler deux points que l'on m'a fait remarquer récemment : c'est que si nous sommes plusieurs, dont MM. FALLOU et ILIOVICI, à avoir défendu la question de déséquilibre, c'est parce que nous pensons que c'est une loi d'avenir ; mais il ne faut pas perdre de vue qu'il y a des cas où certains défauts peuvent être exceptionnellement de caractère tout à fait équilibré, par exemple celui qui s'est produit quelquefois, où l'on met un fil à la terre et où on ferme le disjoncteur en oubliant cette mise à la terre.

Un autre cas est celui de la mise en parallèle, lorsque les tensions sont à 180 degrés ; là encore, on a un court-circuit polyphasé et équilibré. Quoique ces cas soient rares, il serait bon d'avoir des moyens de protection qui y correspondent.

M. ILIOVICI. — On peut toujours mettre des relais sélectifs dans les circuits.

M. MARTINEAU présente quelques observations sur les conditions de l'installation récente de l'Electro-aimant Cotton à l'Office national des recherches et inventions.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, n° 84 d'août 1928, p. 839.

TRAVAUX DES SECTIONS

SOMMAIRE

- 1^{re} SECTION. — Embrayages automatiques appliqués au démarrage des moteurs d'induction à cage d'écureuil (MM. BETHENOD, GRATZMULLER, BRYLINSKI, DE PISTOYE, RIRUNIER), p. 434. — Programme de la Semaine d'Octobre 1928, p. 438. — Utilisation des marées, discussion du projet de M. Mähl (M. BUNET), p. 438. — Essais de démarrage de moteurs asynchrones, p. 440.
- 2^e SECTION. — Mesures photométriques de tubes à néon et en général de sources de lumière colorées à partir d'un étalon de lumière (M. ROUX), p. 441. — L'éclairage des rues (M. RECLUS), p. 442.
- 4^e SECTION. — Emploi des condensateurs sur les réseaux de distribution (M. BUNET), p. 444. — Analyse d'une communication de l'I. E. E. sur les relais régulateurs de charge et leurs applications (M. LIUVICI), p. 445. — Préparation de la Semaine d'Octobre 1929, p. 447. — Sur les distances à observer entre les différents éléments des installations à haute tension (M. TROQUET), p. 447.

1^{re} SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Président : M. Paul GIRAULT.

SÉANCE DU 15 JANVIER 1929. — M. BETHENOD résume une communication sur *les embrayages automatiques appliqués au démarrage des moteurs d'induction à cage d'écureuil* qui fera l'objet d'un rapport à la semaine d'octobre 1929.

M. GRATZMULLER présente à ce propos les observations suivantes :
L'embrayage centrifuge résout les deux temps du problème suivant :

1° *Faire démarrer le moteur à vide.*

L'avantage est de **pouvoir supprimer** l'appareil de démarrage par **insertion** de résistances dans les circuits du rotor.

Mais la surintensité de courant transitoire à la fermeture des **circuits** du stator sur la tension du réseau est sensiblement la même pendant un intervalle de temps *très court* que l'à-coup sur le moteur démarrant sans embrayage.

La variable temps pour estimer l'importance de la perturbation doit donc être introduite dans le problème. Dans quelle mesure la réduction de la durée de la perturbation rend-elle celle-ci acceptable.

Manifestement, plus l'à-coup de courant est de faible durée, moins il est gênant et pour les petits moteurs cela justifie, je crois l'emploi de l'embrayage dans beaucoup de cas.

Il est probable que, par suite de la faible inertie du rotor, la pointe de courant maximum est abaissée. C'est à vérifier à l'oscillographe.

2° Embrayer.

C'est le plus délicat. Pour satisfaire au couple d'entraînement C nécessaire, le rotor tournant à la vitesse ω_1 et la partie entraînée à la vitesse ω_2 , à chaque instant la puissance $C(\omega_1 - \omega_2)$ est dissipée en frottement.

Cette chaleur dans certains cas n'est pas négligeable et elle est difficile à dissiper.

Elle est la même, à égalité de couple moteur, que celle perdue dans les résistances insérées dans les circuits du rotor si le démarrage se fait par intercalation de résistances.

La puissance active prise sur le réseau est la même, toutes choses égales.

L'énergie perdue dépend naturellement de la durée transitoire nécessaire pour aboutir à la suppression du frottement.

L'inertie de la partie entraînée joue donc un rôle fondamental.

La même difficulté se retrouve dans l'enroulement des moteurs à double cage Boucherot, soit des moteurs α à deux stators, dont l'un décalable, de Boucherot également.

La résistance extérieure introduite par des bagues, peut évidemment être dimensionnée pour absorber telle énergie que l'on désire.

La même difficulté se retrouve d'ailleurs dans les moteurs à résistances tournantes avec coupleurs centrifuges, mais comportant un rotor bobiné.

Cela me semble en partie évité dans le couplage rotorique Görges, employé par Legendre avec variante de M. Trantner.

Mais tous ces dispositifs sans embrayages centrifuges satisfont à beaucoup d'applications. Quoi qu'il en soit, j'ai pu constater le bon fonctionnement en service de nombreux petits moteurs entraînés par poulies DEM.

Egalement, j'ai pu expérimenter, avec succès, en plateforme la poulie DEM, EGLO. L'emploi de l'embrayage centrifuge permet l'usage de rotors à cages dans de nombreux cas prohibant ceux-ci sans recours à l'embrayage.

J'ai prévu l'emploi de la poulie DEM, EGLO pour une application

comportant un grand nombre de petits moteurs monophasés d'un demi-cheval environ.

M. BRYLINSKI rappelle que, lors de la présentation à la 4^e Section, il a, tout en conservant l'impression que M. DE PISTOYE basait ses principales critiques sur un texte périmé, émis l'avis qu'il y avait lieu pour les distributeurs de reprendre l'examen de la question du démarrage des moteurs asynchrones. M. FALLOU a bien voulu préparer cet examen, par un projet dont M. Ernest MERCIER a saisi le Syndicat des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique et l'Union des Syndicats de l'Electricité. Le Syndicat des Producteurs, par l'intermédiaire de sa Commission technique, a confié à M. RIEUNIER l'étude de cette question en prenant comme point de départ les propositions de M. FALLOU. L'Union des Syndicats, désireuse d'éviter toute confusion dans les efforts, veut bien attendre les résultats que lui apportera le Syndicat des Producteurs, avant de délibérer à nouveau sur cette question, examinée déjà par elle à plusieurs reprises.

Le Syndicat des Producteurs procède à des expériences de démarrage de divers moteurs, pour apprécier expérimentalement les répercussions qu'ils produisent sur l'éclairage dans des cas variés. Il faut bien se rendre compte qu'il s'agit d'une question vitale pour les distributeurs; d'une part, les chutes de tension produites par les démarrages ne doivent pas avoir pour effet de faire baisser la tension en-dessous de la limite inférieure fixée par le cahier des charges de chaque concession, d'autre part, les variations d'éclairage produites par les démarrages ne doivent pas produire par leur intensité, ou leur durée, ou leur répétition, une impression pénible assez forte pour que le service du contrôle soit fondé à mettre le distributeur en demeure de les faire disparaître, ce qui lui deviendrait impossible s'il avait accepté à la légère des conditions de démarrage incompatibles avec un service d'éclairage convenable. La formule de M. DE PISTOYE comprend assurément des conditions arbitraires, dont l'une, en particulier, ne saurait être admise, car il n'y a aucun rapport défini entre la puissance de l'installation d'un abonné de force motrice et la section du câble qui l'alimente. Mais, même en supposant fixés convenablement les points qui sont actuellement arbitraires dans cette formule, il est douteux qu'elle puisse suffire à définir les conditions d'acceptation d'un moteur asynchrone à rotor en court-circuit, tant la répercussion d'un démarrage dépend de conditions diverses et variables d'une installation à une autre. Seules des expériences systématiques suffisamment nombreuses

permettront de se faire une opinion raisonnée à cet égard. Le syndicat des Producteurs sera très heureux de voir la Société Française des Electriciens prendre part à ces expériences, qui sont dès à présent ouvertes à ses délégués, et M. BRYLINSKI a toute confiance que cette Société ne voudra pas compliquer le problème, déjà très difficile, qui se pose, en entamant des discussions parallèles et indépendantes; le travail en commun sera beaucoup plus fructueux. M. RIEUNIER sera sans doute en mesure de donner dès à présent à la 1^{re} Section des renseignements sur les expériences auxquelles il a déjà procédé. M. BRYLINSKI termine en exprimant l'espoir qu'il pourra résulter de ces études une nouvelle extension de l'emploi des moteurs asynchrones à rotor en court-circuit sur les réseaux de distribution.

M. DE PISTOYE. — S'il est absolument impossible de définir la puissance de l'installation comme j'ai indiqué qu'il serait désirable de le faire, on pourra toujours, comme pis-aller, adopter pour puissance de l'installation celle du compteur de l'abonné, ce qui ne peut prêter à aucune contestation.

M. RIEUNIER rend compte que, suivant des expériences faites sur un réseau de la région parisienne, un certain nombre de moteurs ont été reliés successivement au poste d'abonné qui les alimente habituellement, puis à la ligne aérienne d'un poste de quartier.

L'atelier, le poste de quartier et la ligne représentent l'installation moyenne de la banlieue parisienne.

Ces moteurs, au nombre de 5, étaient répartis comme suit :

- a) 1 moteur rotor c. c. 5 ch commandant un tour vertical;
- b) 1 moteur rotor double cage 5 ch commandant une mortaiseuse ;
- c) 1 moteur rotor double cage 3 ch commandant un tour parallèle;
- d) 1 moteur à bagues 5 ch commandant un tour parallèle;
- e) 1 moteur rotor c. c. 3 ch commandant une meule en grès.

Les démarrages de ces cinq moteurs par le poste d'abonné ne provoquent aucun à-coup sur la lumière.

Les démarrages par le poste de quartier sont intolérables avec les moteurs a) et e), très tolérables ou imperceptibles pour les trois autres.

A titre d'indication, on ne peut certainement pas conclure des effets ainsi constatés aux effets à constater, par exemple, sur le réseau parisien.

Le circuit aérien ayant servi aux essais comportait un poste de quartier avec 1 transformateur triphasé de 75 kVA, 5 500/200 et 110 V

débitant en pointe 25 kVA dont 5 absorbés aux bornes mêmes du poste.

L'atelier est relié au poste par une boucle aérienne ayant d'un côté $3 \times 40 \text{ mm}^2$ et 450 m de longueur avec 119 kVA souscrits, l'autre côté ayant $3 \times 20 \text{ mm}^2$ et 260 m de longueur avec 36 kVA souscrits. Ecartement des fils : 50 cm.

A Paris, dans la zone diphasée, nous trouvons en général dix postes de quartier alimentés chacun par un câble à 12 500 V, les 10 câbles émanant d'un même jeu de barres. Ces 10 postes contiennent chacun un jeu de deux transformateurs de 100 kVA l'un, soit 200 kVA pour l'ensemble des deux phases.

Ces dix transformateurs sont également en parallèle par le réseau base tension. Ce réseau est constitué par un quadrillage serré de câbles souterrains de :

$$(4 \times 100 + 1 \times 50) \text{ mm}^2.$$

M. DE PISTOYE. — Il serait désirable que des essais de démarrage soient faits avec des moteurs à bagues dont on manœuvrerait le démarreur très brutalement, ce qui, en pratique, se produit très souvent et ne peut être empêché.

SÉANCE DU 19 FÉVRIER 1929. — 1° *Programme de la semaine d'octobre 1929.*

Les rapports suivants seront présentés ou discutés à la semaine de discussion d'octobre 1929 :

1° Procédés mécaniques de démarrage des moteurs asynchrones (M. BETHENOD).

2° Modèle mécanique de stabilité des systèmes de transmission (M. DARRIEUS).

3° Moteurs asynchrones compensés (M. DE PISTOYE).

4° Systèmes d'excitation des alternateurs (seconde partie) (M. BELFILS).

2° *Discussion du projet de M. Mühl sur l'utilisation des marées*

M. BUNET présente une étude critique du projet de M. MAHL sur l'utilisation des marées.

Ayant indiqué que ce projet soulève des questions de toutes natures dont un certain nombre seulement peut être examiné utilement par la Société Française des Electriciens, M. BUNET examine d'abord les possibilités d'utilisation des 300 à 400 milliards de kWh que produi-

rait annuellement l'installation envisagée. La consommation annuelle d'énergie étant actuellement de 20 milliards de kWh en France, et de 100 milliards de kWh aux Etats-Unis, il serait nécessaire d'envisager un développement considérable de la consommation dans tous les domaines de l'activité. Un certain délai, probablement assez long, serait indispensable pour que le nouvel équilibre se forme entre la production surabondante et la consommation.

La principale application de cette nouvelle énergie pourrait servir au chauffage industriel et domestique et l'on trouve précisément que l'installation proposée par M. MAHL devrait remplacer très sensiblement les combustibles solides et liquides actuellement utilisés en France. Mais, au moins dans l'état actuel de la technique, le transport de l'énergie électrique est plus coûteux que le transport du charbon, et le prix de revient de cette énergie dans une grande usine n'est en aucune relation simple, même approximative, avec le prix de vente possible à des clients répartis sur un territoire étendu. Le remplacement pur et simple du charbon par le courant électrique ne pourrait donc, en l'état actuel des choses, se faire que pour une fraction probablement assez peu élevée du total.

L'électrochimie et l'électrometallurgie ne semblent pas non plus pouvoir absorber de très grandes quantités d'énergie. La fabrication de l'aluminium absorbe actuellement, sur toute la terre, une quantité d'énergie qui ne dépasse pas 6 milliards de kWh par an. En supposant que un tiers des hauts fourneaux de France, de Belgique et d'Allemagne soient alimenté électriquement, on arriverait à un total de 24 millions de kWh par an.

On arrive ainsi de proche en proche à cette conclusion que, même en forçant tous les chiffres autant qu'il est raisonnable, il y aurait de très sérieux problèmes à résoudre avant d'utiliser intégralement 300 ou 400 milliards de kWh par an.

Mais ce ne sont pas ces études et ces difficultés qui devraient faire renoncer à un examen plus détaillé de la solution préconisée par M. MAHL, si toutes les objections peuvent être levées en ce qui concerne les possibilités de réalisation.

En ce qui concerne la partie électrique et mécanique, sur laquelle peut se prononcer la Société Française des Electriciens, il n'y aurait pas de difficultés insurmontables et les constructeurs seraient en mesure de faire les machines appropriées à la réalisation du projet.

Enfin, M. BUNET discute le prix de revient de 15 milliards de francs prévu dans les calculs de M. MAHL en indiquant que les différents prix

de base des matières premières semblent sous-estimées, et qu'en particulier il a été supposé que la main-d'œuvre serait gratuite (armée et prisonniers) ce qui paraît peu vraisemblable.

D'ailleurs, étant donné la grande différence entre le prix auquel arrive M. MAHL et le prix des installations hydrauliques actuellement effectuées, on pourrait encore affecter d'un certain multiplicateur les chiffres donnés par M. MAHL sans annuler l'intérêt de la question : un des premiers problèmes serait donc de déterminer ce multiplicateur.

M. DARRIEUS fait observer que le prix du transport du charbon par chemin de fer n'est pas nécessairement moins élevé que celui du transport par lignes haute tension de l'énergie électrique produite par ce même charbon. Si l'on envisage des lignes fonctionnant à la tension de 380 000 V telles que celles qui sont en cours de réalisation en Allemagne, on trouve déjà que la ligne de transport d'énergie l'emporte sur le rail. Par ailleurs, si l'énergie était produite à très bas prix à la centrale, on pourrait consentir à un supplément important des pertes en ligne, et transporter une quantité d'énergie plus élevée avec le même capital engagé pour l'établissement des lignes.

M. DARRIEUS signale enfin, que la France est actuellement l'un des pays où le rapport du prix de vente au consommateur au niveau des salaires est le plus élevé.

M. MAHL se propose de répondre prochainement plus complètement aux objections formulées par M. BUNET. Il indique déjà que, grâce à l'ampleur des travaux projetés, les matières premières pourront être obtenues à très bas prix.

3° Discussion du compte rendu des essais de démarrage de moteurs asynchrones, exécutés par M. Rieunier.

M. RIEUNIER informe les membres de la Section qu'il a procédé à une enquête auprès des secteurs de la banlieue parisienne en vue d'établir une statistique générale des postes de transformation analogues à celui qui alimentait l'atelier de Courbevoie où ont été effectués les essais de démarrage. Il résulte de cette enquête qu'il existe autour de Paris 1950 postes analogues, distribuant annuellement 112 millions de kWh. Le poste de Courbevoie est d'une puissance inférieure à celle de la majorité de ces postes et les conditions dans lesquelles ont été effectués les essais peuvent donc être considérées comme particulièrement sévères.

M. RIEUNIER signale, d'autre part, un article paru dans le *Journal E. T. Z.* du 27 septembre 1928, où se trouvent développées les conditions d'emploi des moteurs à cage d'écureuil aux Etats-Unis.

M. FALLOU signale que l'examen des caractéristiques des moteurs qui ont servi aux essais de Courbevoie, ne conduit pas à modifier les coefficients prévus dans son projet de règlement. Si, en effet, ce nouveau règlement était mis en vigueur, et bien qu'il soit beaucoup plus libéral que celui de la brochure n° 137, tous les moteurs essayés à Courbevoie auraient été rebutés, bien que certains d'entre eux n'aient produit au démarrage que des à-coups de lumière qualifiés supportables.

M. BETHENOD complète sa communication sur les *procédés mécaniques de démarrage des moteurs asynchrones*.

2^e SECTION. — ÉCLAIRAGE. — CHAUFFAGE. RADIATIONS DIVERSES

Président : M. DARMOIS.

SÉANCE DU 8 JANVIER 1929.

1^o *Mesures photométriques de tubes à néon et en général de sources de lumière colorées à partir d'un étalon de lumière*, par M. ROUX, Ingénieur à l'Institut d'Optique.

La méthode, très générale, consiste à égaliser, aussi rigoureusement que possible, les teintes des deux plages du photomètre, en interposant entre celui-ci et la lampe étalon un écran coloré convenable, dont on mesure à part le coefficient d'absorption globale.

On fait la mesure comme s'il s'agissait de lampes ordinaires en multipliant les résultats trouvés par ce coefficient d'absorption globale.

Le choix s'est porté sur un écran liquide facile à reconstituer, de dimensions et de composition bien définies; en l'espèce une solution de bichromate de potasse contenant 80 g de bichromate et 24 cm³ d'acide sulfurique à 66° B par litre, contenue dans une cuve de 110 mm de largeur.

Le coefficient de transmission est calculé en partant de la courbe spectrale d'énergie de la lampe étalon dont on connaît la température de couleur, de la courbe de visibilité relative, et de la courbe de transmission de l'écran. Dans le cas cité, ce coefficient est 0,251.

Cette méthode peut s'appliquer à la mesure de l'intensité lumineuse de toute source colorée et en particulier, des lampes à vapeur de mercure.

2° *L'éclairage des rues.* — *Congrès de Saranac et Voyage de la délégation Française aux Etats-Unis*, par M. RECLUS, Ingénieur à la Société du Gaz de Paris.

M. RECLUS expose les derniers travaux de la Commission internationale de l'Eclairage, en ce qui concerne les voies publiques et les conclusions auxquelles les discussions ont abouti.

Le Comité national allemand de l'Eclairage s'était vu confier, au Congrès de Bellagio de 1927, le soin de préparer les discussions qui devaient s'engager à Saranac. Dans ce but, il avait adressé au mois de mai 1928, à tous les Comités nationaux, une lettre programme dans laquelle il proposait de mettre à l'ordre du jour un certain nombre de questions. La plupart de ces questions n'ont été qu'à peine effleurées, la plus grande partie du temps ayant été consacrée à la discussion du premier point, c'est-à-dire du choix des caractéristiques à adopter pour la comparaison des installations d'éclairage public.

Le Comité national français avait fait connaître son opinion dans une lettre adressée le 22 août 1928 au Comité allemand. Dans cette lettre il préconisait comme critérium principal de comparaison de plusieurs systèmes d'éclairage public, l'éclairement horizontal moyen de la voie considérée, bien que l'étude des éclairéments verticaux soit susceptible de fournir également de très intéressants éléments d'appréciation. De même, l'uniformité de l'éclairage était définie comme le rapport de l'éclairement horizontal minimum à l'éclairement horizontal moyen.

Les Anglais, au contraire, préconisaient la mesure de l'éclairement horizontal en un point particulier, appelé « point d'essai ».

Les Américains n'indiquaient pas moins de 14 caractéristiques pour apprécier et classer les systèmes d'éclairage public.

On finit par se mettre d'accord pour admettre comme caractéristiques essentielles, l'éclairement horizontal moyen et l'éclairement horizontal minimum.

Les autres questions donnèrent lieu à des résolutions qui furent approuvées par le Congrès international en sa séance plénière de clôture du 28 septembre 1928.

M. RECLUS donne ensuite quelques indications intéressantes sur l'éclairage des voies publiques dans les grandes villes de l'est des

Etats-Unis. Il estime que dans leur ensemble, les éclairages publics de Paris et de Londres, valent ceux des grandes villes américaines. Dans les voies principales, appelées voies blanches, les éclairéments horizontaux moyens sont de 40 lux. Dans les voies adjacentes, l'éclairage est au contraire assez médiocre.

SÉANCE DU 5 MARS 1929. — *Eclairage des grandes surfaces par projection*, M. MASSING, Directeur de la Société Anonyme de Force et Lumière Electrique, étudie le problème de l'éclairage des grandes surfaces horizontales au moyen de projecteurs puissants placés sur des supports de grande hauteur. Ce problème se rencontre dans l'éclairage des voies de triage, des quais de ports, écluses, docks, dépôts de matériel et de charbon, sous-stations extérieures à très haute tension, terrains de jeux, de sport, parcs d'exposition, grandes places publiques, etc...

Dans le cas de l'éclairage des voies de triage en particulier, l'association américaine des ingénieurs électriciens des chemins de fer a constaté que l'emploi de ce système avait donné les résultats suivants : augmentation du nombre des wagons manœuvrés pendant la nuit : 15,5 pour cent; diminution des frais de réparation du matériel : 21 pour cent; de plus aucun accident de personne n'a été constaté pendant plusieurs mois.

Dans les voies de triage, l'éclairement à réaliser doit être de l'ordre de 1 à 5 lux. Dans les docks, quais, dépôts, on admet de 10 à 30 lux, dans les terrains de sport de 20 à 80 lux.

Les projecteurs doivent être placés à grande hauteur (au moins 25 mètres), afin de diminuer l'éblouissement et les ombres. Ils peuvent être groupés en batterie, soit sur un pylône unique, soit sur plusieurs pylônes, soit montés isolément sur des pylônes plus rapprochés.

Ils doivent être rigoureusement étanches et inoxydables. M. MASSING présente un projecteur de ce genre de la Compagnie des Lampes, construit suivant les brevets de la General Electric Co. Le réflecteur est formé d'une surface parabolique, d'une surface sphérique et d'une deuxième surface parabolique à grand rayon de courbure, recevant les rayons issus de la surface sphérique. Les miroirs sont en verre argenté, protégé par une couche de cuivre déposée électrolytiquement. L'appareil peut être muni d'un auvent qui est destiné à réfléchir une partie des rayons vers le sol, de façon à améliorer l'éclairement au pied des supports.

Les projecteurs peuvent être disposés, soit sur des pylônes métalliques, soit sur des poteaux en béton centrifugé. Les poteaux en béton sont plus esthétiques et ne nécessitent aucun entretien. M. MASSING donne quelques détails sur la fabrication de ces poteaux.

M. MASSING donne ensuite une comparaison économique entre l'éclairage par projecteurs et l'éclairage par candélabres ordinaires, dans le cas d'une voie en ligne droite, d'un carrefour formant place et de l'éclairage de terrains de grandes dimensions.

Il passe ensuite à l'établissement d'un projet d'éclairage par projection et traite une application particulière.

Cette communication est suivie d'une courte discussion à laquelle prennent part MM. CABET, ABGRALL, MAISONNEUVE et MARSAT. Celui-ci rappelle que la maison Sautter Harlé a été l'une des premières à réaliser l'éclairage des grands espaces par projecteurs, puisqu'en 1880 les appareils de cette société éclairaient déjà le Champ de Mars.

4^e SECTION.

APPAREILLAGE. — CANALISATION. — DISTRIBUTION GÉNÉRALE. — TRACTION.

Président : M. DAGUERRE.

SÉANCE DU 14 FÉVRIER 1929. — I. — M. BUNET résume une communication sur *l'emploi des condensateurs sur les réseaux de distribution* qui sera présentée à la semaine d'octobre 1929, et paraîtra in-extenso dans un Bulletin ultérieur.

L'auteur expose que les progrès de la construction des condensateurs ont développé leurs emplois intéressants sur les réseaux, et que, aux Etats-Unis, ces applications prennent de l'extension. Les condensateurs sont employés par des distributeurs dans le but de ramener le facteur de puissance vers l'unité; ils sont alors disposés en dérivation et installés autant que possible aux extrémités des feeders ou même dans chaque installation qui nécessite la correction afin de soulager au maximum les lignes et transformateurs. Les condensateurs viennent aussi d'être employés en série dans les feeders, afin de compenser leur réactance; on réduit ainsi, ou même on annule les chutes de tension; les condensateurs n'ont ainsi normalement, entre leurs bornes, qu'une certaine fraction de la tension normale proportionnelle au

courant et des dispositifs spéciaux doivent être établis afin de les protéger en cas de surintensité.

Une étude plus détaillée de l'emploi des condensateurs sur les réseaux ayant été décidée par la section, avec rapport présenté aux séances d'octobre, cet exposé, qui constituera une partie de ce rapport sera publié avec lui ultérieurement.

II. — M. ILIOVICI analyse une communication présentée à l'Institution of Electrical Engineers, par M. HOLMES, sur *les relais régulateurs de charge et leurs applications*.

A l'origine, l'énergie électrique était à peu près exclusivement réservée à l'éclairage; actuellement son application aux usages domestiques prend une extension considérable, cuisine, chauffe-eau à récupération, etc... permettant d'améliorer le facteur de charge des usines génératrices. Cette amélioration a permis de vendre à très bon marché l'énergie électrique destinée aux appareils domestiques, en dehors des heures de pointe; le décompte de l'énergie se fait à l'aide de compteurs change-tarifs, compteurs à double minuterie, compteurs change-tarifs commandés à distance, etc... ou bien à l'aide de compteurs spécialisés à chaque utilisation.

Mais, dans ces conditions, en tenant compte de l'avantage des appareils à récupération, ou à conservation de l'énergie, il devient nécessaire de les éliminer du circuit au moment de la pointe du secteur, cette élimination pouvant être faite par des interrupteurs horaires installés à poste fixe ou par des interrupteurs commandés à distance, ou par des relais installés chez l'abonné et contrôlant sa propre charge.

On peut également procéder à ce contrôle depuis l'usine génératrice même; à San-Francisco, par exemple, la commande de l'éclairage des rues se fait par courant à haute fréquence.

L'utilisation au maximum des heures creuses est envisagée et facilitée le plus possible par les fournisseurs d'énergie; ce problème est d'autant plus intéressant qu'en Angleterre, l'énergie domestique représente 51,4 pour cent de l'énergie totale fournie par les Secteurs; enfin les progrès réalisés par les constructeurs dans les appareils tels les chauffe-eau sont tels que l'eau garde sa chaleur pendant environ une semaine après coupure du courant. Le prix de l'énergie utilisée dans ces conditions est 10,1 fois moindre que par l'emploi d'accumulateurs électriques.

Relais de régulation installés chez le consommateur.

Ces relais peuvent être installés à côté des compteurs spécialisés, ils coupent une partie de l'installation aux heures de pointe et la remettent automatiquement sous tension une fois la pointe passée.

Les caractéristiques générales de ces relais sont les suivantes :

Parcourus par le courant total I de l'installation, ils en éliminent une partie I_1 quand l'intensité totale atteint une valeur déterminée. Ils restent au collage et maintiennent la coupure tant que le courant principal n'est pas descendu au-dessous d'une valeur déterminée et inférieure à $I - I_1$, puis remettent automatiquement sous tension les installations coupées. Ce principe est indispensable pour éviter les oscillations pendulaires ou mouvements de sonnette que prendrait le relais au cas où son armature retomberait pour une intensité trop élevée, ou trop voisine de l'intensité provoquant la coupure.

La consommation propre de ces relais varie entre 1 et 1,5 W.

Les types de ces relais peuvent varier à l'infini, les plus employés sont :

a) *Relais thermiques* du type bimétal portant un interrupteur à mercure, l'allongement différent des deux branches chauffées par le passage du courant provoque une courbure de ces branches, donnant à l'interrupteur à mercure l'inclinaison voulue pour la rupture des contacts.

b) *Relais électromagnétiques* constitués par une bobine dont l'armature à plongeur baigne dans le mercure. Quand le courant est suffisant, l'armature monte, le niveau du mercure baisse et coupe par décourt-circuitage le circuit à éliminer pendant la pointe.

c) *Thermostat* dans lequel la pression d'un liquide chauffé agit par poussée sur une plaque formant interrupteur.

d) *Relais d'induction* à deux bobinages, l'un excité par la tension du réseau, l'autre par le courant de l'installation; ce relais, véritable compteur, agit en tournant sur un interrupteur à mercure.

e) *Relais à courant continu* constitué par un électro-aimant à deux bobinages, l'un dérivé sous la tension, l'autre, série, parcouru par la totalité du courant de l'installation; l'armature du relais porte l'interrupteur à mercure.

Conclusion. — L'utilisation de ces relais n'est pas absolue, mais ils constituent, suivant l'auteur, la solution la plus simple pour la plupart des problèmes relatifs à la régulation de la charge.

3° *Préparation de la semaine d'octobre.* — La 4° Section inscrit à son programme pour la semaine d'octobre 1929 :

La limitation des effets de court-circuit sur les réseaux haute tension alimentés par de puissantes centrales. M. FALLOU.

L'emploi de condensateurs dans les réseaux de distribution. M. BUNET.

La récupération en traction électrique. M. GRATZMULLER.

SÉANCE DU 21 MARS 1929. — 1° *Sur les distances à observer entre les différents éléments des installations à haute tension* par M. TROQUET.

A la suite des réponses faites au Syndicat des Producteurs et Distributeurs par leurs adhérents, M. TROQUET, rapporteur, essaie, d'après les renseignements reçus, de tirer une règle pratique au dehors de toute considération d'ordre théorique ou expérimentale.

47 Secteurs (représentant 60 pour cent de la production nationale et 50 000 km de ligne de toute tension) ont répondu au questionnaire que les distances observées découlent uniquement de la pratique et de leur expérience propre guidée par le souci de la sécurité plutôt que par l'économie.

Lignes aériennes. — Les distances sont fonction de la tension, puissance, portée, flèche, mode d'armement, nature des supports (poteaux bois, béton ou pylônes) et des conditions climatiques.

Les quelques formules existantes relatives aux distances à observer, ne peuvent naturellement tenir compte de toutes ces considérations.

Formules. — a)
$$D = \frac{P}{2} + \frac{E}{200}.$$

D distance des conducteurs en cm.

P portée en mètres.

E tension entre phases en volts

b)
$$D = \frac{E^2}{20\,000} + 0,75 \sqrt{F}.$$

D distance des conducteurs en mètres.

E tension entre conducteur en kilovolts.

F flèche maxima en mètres.

c) (formule américaine).

$d = 1$ pied pour 10 000 volts, soit : 30 mm par 1 000 volts.

Tension en volts	Formule			Distance moyenne résultant ⁽¹⁾ de l'enquête
	a	b	c	
5 500	0,43	0,38	»	0,62
15 000	0,8	0,75	»	0,78
30 000	1,35	1,1	0,9	1,1
60 000	2,60	2	1,8	1,9
150 000	6	3,50	4,50	4,8

Certains exploitants ont dû augmenter les distances adoptées du fait des accidents causés par les oiseaux, débris de paille déposés par le vent, conservation de distance suffisante pour manœuvrer les sectionneurs en charge, changement d'armement (de triangle en drapeau), voisinage d'usines à chaux ou ciment, etc...

Postes de transformation. — La détermination des distances échappe à toute règle précise. Indépendamment de la tension, il y a lieu de tenir compte des caractéristiques de l'appareillage utilisé et de la puissance des sources d'alimentation qui, en régime troublé, créent des surtensions et des efforts électromagnétiques considérables ne pouvant être réduits que par des augmentations de distance.

M. DAGUERRE. — Dans les lignes aériennes, les distances sont variables du fait de la nature des poteaux et pour ce qui est de la manœuvre en charge des sectionneurs, cette manœuvre dangereuse devrait être interdite.

M. FALLOU. — Dans les postes la distance théorique entre conducteurs doit être infinie, cette considération a conduit les Américains à adopter des postes à phases complètement séparées, postes à un étage par phase. Dans le projet du poste de Vitry-Sud (U. D. E.) cette solution est adoptée; elle est moins onéreuse et moins encombrante que si le poste était triphasé.

M. SAINT-GERMAIN. — Pour les postes de petite puissance les disjoncteurs dans l'huile devant supporter des pressions très élevées doivent garder des dimensions relativement faibles, cette raison a conduit certains exploitants à isoler les conducteurs à leur sortie.

2° M. VITTE résume une communication sur *les applications des bois à l'électrotechnique, méthodes de traitement et de contrôle* (1).

(1) Cette communication qui sera présentée en séance publique de la Société le 2 Mai 1929, paraîtra *in extenso* dans un prochain *Bulletin*.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ ⁽¹⁾

APPAREILS DE MESURE.

Les Compteurs d'Electricité de Fichter RM, édité par Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris 6^e, 1 volume 25^{cm} × 16 de 370 pages, broché. *Don de l'éditeur.*

FORMULAIRES. — AIDE-MÉMOIRE. — MANUEL.

A Dictionary of applied Physics Light Sound Radiology, édité par Macmillan and Co L^{td} et S. Martius Street, London, un volume de 23^{cm} × 16 de 914 pages, relié, prix : 63 francs. *Don de l'éditeur.*

ENSEIGNEMENT.

A Dictionary of applied Physics Light Sound Electricity, édité par Sir Richard Glazebrook, London, un volume de 23^{cm} × 16, 1104 pages, relié, prix : 63 francs. *Don de l'Editeur.*

Traité de Physique, par O. D. CHWOLSON, édité par J. Hermann, 6, rue de la Sorbonne, à Paris. — 1^o *Introduction mécanique, méthodes et instruments de mesure*, 1 volume 25^{cm} × 17 516 pages, broché. *Don de l'Editeur.* Prix 17 francs. — 2^o *Champ magnétique constant*, 1 volume 25^{cm} × 17 730 pages, broché. *Don de l'Editeur.* Prix : 22 francs. — *L'état gazeux des corps*, 1 volume 25^{cm} × 17 152 pages, broché. *Don de l'Editeur.*

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société Française des Electriciens, 14, avenue Pierre-Larousse, de 14 à 18 heures, tous les jours, sauf le Dimanche.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

APPAREILLAGE. — CANALISATION.

Encyclopédie du Caoutchouc et des Industries qui s'y rattachent. Préface de M. Ch. Iung. Editée par le Syndicat du Caoutchouc et des Industries qui s'y rattachent, avec le concours de nombreux collaborateurs spécialisés. — Un volume 19^{cm} × 27 de 475 pages, de 23 pages de références, très nombreuses illustrations dans le texte et hors texte, 1929. Edité par la « Revue Générale du Caoutchouc », 18, rue Duffot, Paris. *Don du Syndicat du Caoutchouc et des Industries qui s'y rattachent.*

L'industrie du caoutchouc s'est développée d'une façon prodigieuse.

Il était indispensable que cette lacune fut comblée et qu'un organisme prit en mains l'élaboration d'ouvrages contenant toutes les connaissances actuelles sur le caoutchouc, ses plantations, ses fabrications et ses méthodes de transformation.

M. Iung, Président de ce syndicat, indique dans sa préface de « l'Encyclopédie » qu'en faisant appel aux Techniciens français les plus qualifiés pour la rédaction des divers chapitres de cet ouvrage, en laissant à chacun d'eux le choix du sujet qu'il avait le plus particulièrement travaillé, le syndicat du caoutchouc avait voulu donner au lecteur la certitude, de ne trouver dans ce livre que des faits absolument contrôlés et garantis par l'expérience et la personnalité des auteurs qui ont collaboré à sa rédaction.

L'ouvrage comprend quatre parties :

Première partie. — La production du caoutchouc brut.

Deuxième partie. — Le caoutchouc vulcanisé.

Troisième partie. — Les différentes fabrications.

Quatrième partie. — Les recherches scientifiques et techniques.

On trouve dans ce livre la plus abondante et la plus savante documentation qui ait été écrite à ce jour, et qui n'était jusqu'ici représentée que par quelques volumes déjà anciens et quelques monographies éparses dans de nombreuses Revues françaises et étrangères.

Essais d'interrupteurs dans l'huile, 1927. — Publication de l'Union des Syndicats de l'Electricité, 25, Boulevard Malesherbes, Paris (8^e). Brochure 27 × 22 de 137 pages, 38 figures, 205 oscillogrammes. *Don de l'Union des Syndicats de l'Electricité.*

L'Union des Syndicats de l'Electricité a organisé, en 1927, des essais d'interrupteurs dans l'huile avec le concours du Laboratoire Central d'Electricité et de la Compagnie Parisienne de distribution d'électricité. Dans la rédaction du Rapport d'essais qui fait l'objet de cette publication le Laboratoire Central décrit les dispositifs adoptés et indique, sans y ajouter aucun commentaire, les résultats obtenus.

Les essais ont porté sur les phénomènes qui accompagnent la rupture du court circuit : ils comportent des relevés oscillographiques du courant et de la tension aux divers points de rupture ; des déterminations de la pression développée dans l'huile et dans l'air pour des vitesses de déclenchement variables.

Vingt-huit appareils différents ont été essayés.

Il sera possible aux constructeurs et aux exploitants, de dégager de ce travail des indications précieuses sur les dispositions qu'il convient d'adopter dans les divers cas pratiques.

Le lecteur ne devra pas s'étonner de ne trouver aucune indication sur ce qu'on appelle la puissance de coupure. Les Electriciens ne sont pas d'accord sur cette définition et le rédacteur du rapport d'essais n'en a pas fait mention. Par contre, la puissance dépensée dans l'arc a été déduite des oscillogrammes relevés au cours d'un certain nombre d'essais.

Cet important document que l'Union des Syndicats de l'électricité, met à la disposition des Constructeurs et des Industriels, porte l'empreinte de la méthode scientifique qui caractérise les savants travaux de notre Laboratoire Central d'Electricité; il est appelé à rendre les plus grands services à l'Industrie électrique.

RECHERCHES PHYSIQUES.

Sur la théorie des quanta de lumière, par AL. PROCA. Un fascicule 14^{cm} × 22 de 96 pages, 9 figures, de la Collection de Suggestions scientifiques, publiée sous la direction de M. Léon Brillouin, 1928. Editeur : Librairie scientifique Albert Blanchard. 3 et 3 bis, Place de la Sorbonne, Paris, 5°. Prix : 9 francs. *Don de l'éditeur.*

Des deux principales théories de l'optique, la théorie des ondes et celle des quanta, l'une se base sur la continuité des champs électriques et magnétiques, l'autre suppose que le rayonnement de la lumière s'effectue par quanta isolés et indépendants, d'égale énergie, c'est-à-dire possède une structure discontinue ou granulaire.

L'Auteur tente de lever quelques-unes des difficultés que l'on rencontre lorsqu'on veut concilier ces deux théories; il a donc étudié la structure du quantum de lumière en le considérant dans le vide, c'est-à-dire en laissant de côté l'émission et n'étudiant que le rayonnement.

Une hypothèse était nécessaire, l'auteur la formule ainsi : les champs magnétique et électrique de la théorie de Maxwell ont une structure discontinue, si on les a considérés comme continus, c'est que la notion de discontinuité des champs est liée à celle de la discontinuité de l'espace et que nous n'avons pu concevoir jusqu'à ces derniers temps un espace discontinu.

Mais aujourd'hui, ce sont les données physiques qui nous imposent l'étude du discontinu, nous conduisent à la considération de l'atomicité de l'espace et celle-ci à l'atomicité du temps. Telle est l'hypothèse de l'espace-temps. Pour la mettre en œuvre, on conserve la théorie de Maxwell en y supposant les champs de l'onde discontinue, on peut utiliser ainsi les nombreuses vérifications expérimentales qui ont justifié le succès de la théorie de Maxwell; d'autre part on démontre qu'en vertu de l'hypothèse de l'espace-temps, une onde de lumière se compose de paquets d'égale énergie, c'est-à-dire de quanta.

L'analyse des quanta, permet ensuite de calculer leur énergie et de trouver la relation générale entre cette énergie et la fréquence, relation qui contient celui de Planck comme cas particulier.

La théorie des quanta de lumière se heurte aujourd'hui à deux écueils importants : l'explication des phénomènes d'interférence et de ceux qui s'y rattachent et le problème de l'intensité de la lumière.

L'hypothèse fondamentale formulée par l'Auteur conduit à des conséquences qui semblent pouvoir apporter à ces questions une solution satisfaisante.

C'est ainsi que l'explication proposée pour les phénomènes d'interférence suppose essentiellement qu'une frange noire apparaît par l'action simultanée de deux quanta convenablement décalés, tout comme dans la théorie classique. Les théories modernes admettent l'hypothèse plus simple que l'intensité des franges est proportionnelle à la densité des quanta au point considéré.

Le présent ouvrage n'approfondit pas cette divergence entre les deux théories, mais il indique une méthode empirique, permettant d'étudier le très difficile problème du quantum de lumière, et les savantes théories qui y sont exposées, peuvent être considérées comme les suggestions scientifiques les plus hardies que l'on puisse concevoir sur cette délicate question : elles sont d'un puissant intérêt pour les Physiciens d'avant-garde de l'époque actuelle.

IL Y A 30 ANS

**Assemblée générale annuelle et réunion ordinaire mensuelle
du 12 avril 1899.**

Présidence de M. R.-V. PICOU.

M. BOCHET fait la communication suivante : *Les Parafoudres sur les canalisations électriques.*

L'organisation d'une protection efficace s'impose d'une façon absolue dans les installations qui comportent un développement notable des canalisations aériennes, telles que les distributions urbaines, les tramways à prise de courant aérienne, les transmissions de puissances à longue distance, etc. surtout lorsque les lignes traversent des pays de montagnes.

La foudre étant un phénomène oscillatoire dont les oscillations se comptent par millions à la seconde, la self-induction résultant de l'incurvation des conducteurs constitue un obstacle à la propagation des décharges atmosphériques directes ou indirectes.

Les capacités jouent également un rôle important dans la constitution des parafoudres et de leurs connexions avec la terre.

M. BOCHET indique un certain nombre des dispositifs donnant de bons résultats : parafoudre à fil fusible de M. LABOUR, dispositif indiqué par M. PICOU pour la protection des réseaux à trois fils au moyen du fil neutre relié à la terre, parafoudres système Thierry. Parafoudre électromagnétique Garton. Parafoudre Westinghouse à dilatation d'air. Parafoudre Elihu Thomson à soufflage magnétique. Parafoudre Brown Boveri. P. Wurtz. P. Wirt de la Société Thomson-Houston, P. Burkus et C^{re}.

M. BOCHET fait ensuite une description des parafoudres à cornes Siemens et Halske et indique les résultats qu'ils donnent; il signale, enfin, la propriété qu'ont les vapeurs de certains métaux tels que le zinc pour l'extinction de l'arc amorcé dans les parafoudres.

M. HOSPITALIER fait une communication sur *l'Interrupteur Wehnelt et ses applications.*

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion supplémentaire du vendredi 26 avril 1929, commune avec la Société des Ingénieurs Civils de France, p. 455.

Réunion ordinaire mensuelle du jeudi 2 mai 1929, p. 458.

Admission des Membres titulaires, p. 458.

Dons à la Société pour l'Ecole supérieure d'Electricité, p. 459.

Annonces diverses, p. 459.

Réunion supplémentaire du vendredi 10 mai 1929, commune avec la Société des Ingénieurs Civils de France, p. 463.

RAPPORTS AUX ASSEMBLÉES GÉNÉRALES :

Rapport du Comité d'Administration, p. 465.

Rapport de la Commission des comptes, p. 470.

Rapport annuel sur le Laboratoire Central et l'Ecole supérieure d'Electricité, p. 482.

Rapport annuel du Groupe du Sud-Ouest (composition de son Bureau et de son Comité), p. 495.

Composition du Bureau et du Comité du Groupe du Sud Est p. 502.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Sur les ondes de 10 à 20 cm (M. G.-A. BEAUVAIS), p. 503. — La phototélégraphie d'amateur (M. MESNY), p. 511. — Compte rendu de la réunion de la Commission internationale d'éclairage aux Etats-Unis en septembre 1928 (M. M. LEBLANC), p. 525. — Emploi des machines frigorifiques et des gaz à haute pression dans les centrales électriques et les postes de transformateurs (M. NEU), p. 542. — Observations de M. ROTH, p. 548. — Réponse de M. NEU, p. 549.

TRAVAUX DES SECTIONS, p. 553.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 555.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 557.

IL Y A TRENTE ANS, p. 563.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

REUNION SUPPLEMENTAIRE

du vendredi 26 avril 1929

organisée en commun avec la Société des Ingénieurs civils de France.

Présidence de M. MOUTIER,
Président de la Société des Ingénieurs civils,

assisté de M. BUNET,
Président de la Société Française des Electriciens.

La séance est ouverte à 21 h.

M. DELON fait une communication sur *les câbles à haute tension*. Il rappelle les difficultés techniques qu'a rencontrées cette fabrication dès que l'on a abordé les tensions de service de 40 000 V et au-dessus qui entraînent pour le diélectrique des contraintes de 4 à 5 000 V/mm. Ces difficultés n'ont pas encore permis d'atteindre avec des câbles isolés les tensions de transmission employées pour les lignes nues sur isolateurs.

L'étude rationnelle des pertes dans les diélectriques a toutefois révélé ceux d'entre eux qui étaient le mieux appropriés et de réaliser au cours de ces dernières années d'importants progrès. Le câble triphasé à 3 conducteurs isolés et enrobés d'une enveloppe commune de plomb, a d'abord été amélioré par l'introduction, entre les torons, de minces chemises métalliques, régularisant la répartition du potentiel dans le diélectrique, tout en favorisant le refroidissement. Puis, les 3 conducteurs ont été placés chacun séparément sous une enveloppe de plomb sans armure de fer, afin d'éviter des pertes trop importantes. Toutefois les pertes dans le plomb atteignent de 3 à 10 pour cent de la perte Joule dans les conducteurs. L'U. D. E. utilise 250 km de câbles de ce type à 60 000 V.

On a songé enfin, à assembler, sous une même armure, 3 câbles mis séparément sous plomb.

Aux Etats-Unis, une ligne d'essais de 450 m de longueur a été mise sous la tension de 132 000 V en octobre 1927 et fonctionne depuis sans incidents, bien que les conditions de service soient volontairement rendues de plus en plus sévères.

Le conférencier examine ensuite si les câbles isolés, en supposant qu'ils regagnent leur retard actuel sur les lignes portées par isolateurs, parviendront à remplacer celles-ci, non seulement pour la pénétration dans les grandes agglomérations, mais sur toute l'étendue des grands transports.

Ils ont contre eux leur prix élevé et le fait qu'à très haute tension le courant de capacité d'un câble devient tel que sa longueur est limitée à une centaine de kilomètres.

Par contre, leur entretien est insignifiant : pour assurer la sécurité du transport, il suffit d'ajouter un câble de réserve aux trois câbles de service, alors que pour obtenir la même sécurité d'une ligne sur isolateurs, il est nécessaire de la doubler.

On peut d'ailleurs compenser la capacité des câbles de la même manière que pour les câbles téléphoniques au moyen de bobines d'inductance disposées de place en place tandis que, pour obtenir la compensation sur une ligne aérienne, il est nécessaire de recourir aux compensateurs synchrones.

Le calcul appliqué à un cas concret (transport de 80 000 kW à 250 km sous tension composée de 120 000 V à la fréquence de 50 p : s avec $\cos \varphi = 0,7$) montre qu'il serait nécessaire d'intercaler 125 000 kVA en bobines d'inductance dont le prix atteindrait deux millions de francs.

La ligne aérienne exigerait l'emploi de deux lignes en parallèle et d'une batterie de condensateurs synchrones de 80 000 kVA avec transformateurs, coûtant six millions de francs.

Tout compte fait la ligne aérienne compensée coûterait 35 pour cent de moins que le câble souterrain également compensé.

PETERSEN faisait récemment remarquer qu'en tenant compte des frais d'entretien qui sont négligeables pour le câble et de sa durée pratiquement illimitée, qui permet d'adopter un taux d'amortissement beaucoup plus faible que pour la ligne aérienne, on peut admettre à égalité de charges annuelles un prix de premier établissement du câble de 30 à 40 pour cent supérieur à celui de la ligne aérienne.

La conclusion du conférencier est donc que les prix des deux procédés peuvent parfaitement entrer en comparaison et que leur différence s'atténuant quand augmente la puissance à transmettre, on peut dès

maintenant envisager les grands transports d'énergie par câbles souterrains judicieusement compensés.

M. FOURNEAU décrit et présente le *sférographe* qui avait fait à la semaine de discussion d'octobre 1929; l'objet d'un rapport de M. CHAUVÉAU (1).

Toutefois, l'émetteur actuellement employé diffère de celui décrit d'abord. Dans ce dernier, l'image à transmettre, développée sur une matière isolante, était reportée sur une feuille de cuivre que parcourait une pointe conductrice; le courant variait suivant l'épaisseur de la matière isolante et par suite avec l'intensité de l'impression photographique.

Dans le nouveau système, l'image est imprimée sur une pellicule transparente interposée sur le trajet d'un rayon lumineux qui vient frapper une cellule photoélectrique. Le courant variable est modulé, puis amplifié et enfin transmis par fil ou par ondes hertziennes.

Le récepteur est le même que celui décrit par M. CHAUVÉAU.

M. FOURNEAU a effectué en séance la transmission d'une image dont le modelé était remarquable.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VIII, 4^e série, n° 84, août 1928.

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Jeudi 2 Mai 1929

Présidence de M. BUNET.

La séance est ouverte à 20 h. 45.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

- Aycoberry** (André-Pierre-Marie), directeur des Etablissements Georges Claude, 29, rue de Sèvres, à Boulogne-sur-Seine (Seine). Domicile : 7, rue Henrion-Bertier, Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Rieunier et Darrieus.
- Benard** (André), ingénieur à la C.P.D.E. ; ingénieur E.C.P. et E.S.E., 18, rue Sausure, Paris (17^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Bloch** (Eugène), professeur de physique théorique et physique céleste à la Faculté des Sciences de Paris, 11, rue Rataud, Paris (8^e). — Présenté par MM. Abraham et Darmois.
- Delrieu** (Pierre-Paul-André), ingénieur E.P.C.I., licencié ès-sciences, ingénieur aux Etablissements G. Claude, 92, rue des Martyrs, Paris (18^e). — Présenté par MM. Rieunier et Darrieus.
- Guilbert** (Maurice-Charles-Marcel), diplômé E.B.P., S.I.E.F., membre de la Chambre Syndicale des Fabricants de Bronze et industries s'y rattachant. Industriel (Etablissements Guilbert), Manufacture d'appareils d'éclairage et luminaires, 48, rue de Turenne, Paris (3^e). Domicile : 34, boulevard Magenta, Paris (10^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Juget** (Pierre), ingénieur, anciens Etablissements Faille et Reinhardt, 44, rue de Terre-Neuve, Paris (20^e). Domicile : 22, rue de l'Echiquier, Paris (10^e). — Présenté par MM. de Valbreuze et Cohu.
- Laporte** (Marcel-Marie-Léon-Auguste), agrégé des Sciences physiques, docteur ès-sciences, assistant de physique à l'Institut du Radium, 1, rue Pierre-Curie, Paris. Domicile : 39, boulevard Port-Royal, Paris (13^e). — Présenté par MM. Darrieus et Holweck.
- Leonard** (Camille-Joseph), ingénieur en chef, adjoint des services techniques de la Société générale de Construction Electrique et Mécanique « Alsthom », 8, rue Barthélemy, Paris (15^e). — Présenté par MM. Roth et Girault.
- Lepape** (Adolphe-Léon), sous-directeur du Laboratoire de Chimie-Physique de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie (Collège de France), 52, rue de Bourgogne, Paris (7^e). — Présenté par MM. Bunet et Darrieus.
- Pillon** (Jean-Paul), ingénieur électricien à la Société Electro-Métallurgique de Saint-Béron (Savoie). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Saurel** (Maurice), administrateur délégué de la Compagnie des Lampes, 29, rue de Lisbonne, Paris (8^e). — Présenté par MM. Maisonneuve et Grosselin.
- Stavraky** (Mlle Alla de), ingénieur à la Société « Ateliers J. Carpentier », 126, rue Vercingétorix, Paris (14^e). — Présentée par MM. Chaumat et Grosselin.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président annonce les dons suivants faits à la Société pour l'Ecole supérieure d'Electricité.

1° par M. Paul Janet :

Années 1918 à 1927 des Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences.

Années 1922, 1926 et 1928 des mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut de France.

Années 1910 à 1922 des Procès-verbaux des séances de l'Académie des Sciences.

10 volumes brochés sur Deodat Dalomieu. Membre de l'Institut National.

Année 1924 de l'inventaire des Périodiques scientifiques des Bibliothèques de Paris.

2° par MM. Durand et Pilven :

2 interrupteurs tripolaires 15 A.

3° par les compteurs Garnier :

2 compteurs S. A. K. 5 A, 110 V.

2 compteurs triphasés non équilibrés 5 A, 200 V. 50 P, 3 fils.

2 compteurs triphasés non équilibrés 5 A, 115/200 V. 50 P, 4 fils.

2 compteurs monophasés 5 A, 115 V. 50 P.

M. le Président annonce qu'un hommage vient d'être rendu un peu tardivement peut-être, à notre éminent et très regretté collègue Eiffel, par l'érection, au pied de la Tour, de son buste dû au ciseau du sculpteur Bourdelle.

La cérémonie, à laquelle la Société était représentée par son Président et plusieurs Membres du Bureau, a eu lieu le 2 mai.

Notre Président d'honneur, M. le général FERRIÉ, a rappelé les créations dues au génie d'Eiffel dans le domaine de la construction métallique et les travaux expérimentaux qui lui permirent de constituer la science nouvelle de l'aérodynamique, base indispensable de l'aviation. Il a évoqué les services rendus par la Tour à la météorologie, aux radiotransmissions et, en particulier pendant la grande guerre, à la Défense Nationale.

M. le Président annonce que tous nos collègues vont recevoir le programme des visites et du voyage que feront en France du 12 au 22 juin, les membres de l'Institution of electrical Engineers qui tiendront à

Paris, sur l'invitation de la Société française des Electriciens, leur réunion annuelle. Il espère qu'un grand nombre de participants français pourront se joindre à nos hôtes.

Le Délégué général, signale que la nouvelle Bibliothèque de notre Société, installée à Malakoff, contient maintenant plus de 10'000 volumes et reçoit le service régulier de plus de 100 périodiques français et étrangers; un fichier de plus de 25 000 fiches, établies suivant la classification décimale, permet de trouver immédiatement la source d'un renseignement cherché. On peut donc affirmer qu'il y a là dès maintenant un centre de documentation très important, mis à la disposition de tous les membres de la Société.

M. BETHENOD présente un mémoire de M. Horace TURRETTINI sur la *production du froid par l'effet Peltier* (1).

M. TURRETTINI a utilisé pour la soudure froide, le contact d'un crayon d'antimoine entouré d'un cylindre en alliage bismuth-antimoine. Il arrive à produire 300 petites frigories heures avec un courant de 15 A, ce qui correspondrait à 556 grandes frigories par kilowatt-heure. Deux appareils identiques montés en série permettent un abaissement permanent de température de 17 à 18° C.

M. BETHENOD ajoute que M. d'ARSONVAL lui a adressé une étude parue dans le numéro d'août 1902 des Annales de Physique et de Chimie et dans laquelle il signale qu'en plaçant la soudure dans l'air liquide, il a pu mettre en évidence l'effet Peltier. Il ajoute qu'en partant de l'hélium liquide, on pourrait abaisser encore les températures limites actuellement atteintes.

M. BETHENOD rappelle à ce propos que M. d'ARSONVAL avait dès cette époque, réalisé les vases en verre à enveloppe d'air baptisés ensuite vases Dewar. On devrait les appeler tout au moins vases d'Arsonval Dewar.

M. le Président remercie vivement M. BETHENOD de nous avoir ainsi remémoré les conditions de production et les applications de l'effet Peltier.

M. VITTE, Ingénieur à la Société Générale de Constructions Electriques et Mécaniques (Alsthom) présente *une étude générale sur les bois employés en électrotechnique, les méthodes de contrôle et les traitements employés*.

Après avoir rappelé quelle est la constitution chimique et physique des bois et projeté des coupes montrant la disposition des cellules, des

(1) Cette communication faite d'abord par M. Bethenod devant la 6^e Section a sa séance du 28 janvier 1929, paraîtra in-extenso dans un Bulletin ultérieur.

fibres, des vaisseaux et rayons médullaires, il explique ce que l'on entend par le vieillissement du bois et indique les procédés artificiels employés à cette fin. Il expose le programme suivi au Laboratoire de Saint-Ouen sous la direction de M. KRIEGER pour la recherche d'un traitement donnant au bois les qualités nécessaires en électrotechnique. Ce programme comportait, en premier lieu, la détermination d'une méthode de vérification des qualités diélectriques. Le conférencier indique les raisons qui ont fait adopter la mesure des pertes en courant alternatif au moyen du wattmètre compensé et les conditions d'applications de cette méthode. Il présente, en tableaux et en graphiques, les résultats obtenus qui se classent dans le même ordre que ceux donnés par la pesée de la teneur en eau. Il termine par des considérations générales sur les traitements d'imprégnation actuellement pratiqués et qui reviennent à substituer à l'eau contenue dans le bois, une matière inerte isolante. Les résultats de la mesure des pertes comme aussi de la mesure de la rigidité diélectrique montrent que l'imprégnation des bois, employée seule, ne suffit pas à les mettre à l'abri de l'absorption d'humidité. Pour s'opposer à celle-ci, il est nécessaire de recouvrir le bois d'un vernis imperméable, en particulier du vernis à la bakélite.

M. BOHNENBLUST, Ingénieur à la Société Anonyme Brown Boveri, fait remarquer que les bois se comportent différemment suivant leur provenance et d'autre part, que la bakélite est hygroscopique; enfin, que le vernis constitue une protection bien fragile et que les bois traités à la bakélite résistent mal aux produits alcalins.

M. ROTH déclare que les Ateliers de Delle emploient aussi la méthode des pertes pour le contrôle de leurs fabrications. Ils utilisent, à cet effet, comme wattmètre, un galvanomètre à miroir dont la bobine mobile est branchée sur le courant traversant la pièce de bois à essayer; la bobine fixe est parcourue par un courant dont le déphasage avec la tension produisant le premier courant est maintenu rigoureusement nul au moyen d'un déphaseur à induction contrôlé par un condensateur.

M. VILLIERS conclut de l'exposé de M. VITTE, que le vernis risquant fort d'être détérioré au cours des manutentions et du montage, l'emploi à l'air libre du bois imprégné comme isolant ne paraît guère justifié.

M. LEBAPIN indique que pour obtenir une bonne imprégnation il est nécessaire d'opérer sur des bois verts ou humectés artificiellement jusqu'à contenir de 45 à 50 pour cent d'eau.

M. VITTE déclaré que ses observations personnelles l'ont conduit au résultat signalé par M. LEBAUPIN.

M. TEXIER, Administrateur-Directeur de la Manufacture de machines auxiliaires pour l'électricité et l'industrie, répond que le défaut de résistance aux produits alcalins n'est pas caractéristique des résines synthétiques, car on emploie industriellement des bakélites qui ne le présentent pas. Il ajoute, pour répondre aux critiques de M. VITTE sur l'imprégnation, qu'il a obtenu, par des injections profondes, une protection efficace contre l'humidité.

La teneur en eau réintroduite dans le bois ne doit d'ailleurs pas être seule considérée; il faut aussi tenir compte de la fixation exercée par la bakélite sur les matières albuminoïdes des tissus et sur le protoplasme des cellules vivantes, fixation qui abaisse la conductibilité du bois dans de fortes proportions. Si les courbes de pertes relevées par M. VITTE ont la même allure que celles de reprise de l'humidité, c'est que les bois sur lesquels il opérait étaient mal imprégnés.

M. STEINMANN répond à M. VILLIERS que le laquage polymérisé à chaud sur le bois bakélisé forme avec la masse sous jacente un bloc homogène.

D'autre part, la bakélite est injectée sous forme de vernis à l'alcool ou avec un excès de formol : or, l'alcool et le formol sont des fixateurs énergiques.

Le vernis bakélite a une action chimique importante sur les constituants du bois, avant et pendant la polymérisation.

Les vides signalés par M. VITTE dans les cellules imprégnées sont dus au départ de l'alcool dont une partie reste d'ailleurs en combinaison avec certains sucres cellulaires. Ils ont l'avantage de laisser au bois une grande partie de sa flexibilité. On ne peut les supprimer que par surinjection ou par écrasement du bois qui donnent des produits différents, de propriétés très intéressantes.

M. LE PRÉSIDENT félicite le conférencier d'avoir poursuivi sous la direction de M. KRIÉGER de si intéressantes recherches et le remercie, ainsi que l'Alsthom, de nous avoir fait profiter des travaux exécutés dans leur laboratoire. Il remercie aussi ceux de nos membres qui ont bien voulu apporter des observations résultant de leur expérience personnelle et nous apprendre en particulier, qu'il était nécessaire d'opérer sur des bois remplis d'eau pour parvenir à les imprégner.

REUNION SUPPLÉMENTAIRE

du Vendredi 10 Mai 1929

Organisée en commun avec la Société des Ingénieurs Civils de France

Présidence de M. CUVELETTE,

Vice-Président de la Société des Ingénieurs civils de France,

Assisté de M. BUNET,

Président de la Société française des Electriciens.

La séance est ouverte à 21 h.

M. Maurice de BROGLIE fait une conférence sur *les vérifications récentes de la mécanique ondulatoire dans le cas du mouvement des électrons et sur les expériences de Davisson et Germer et de G.-P. Thomson*. Il rappelle en un exposé succinct, qui sera publié *in extenso* dans un Bulletin ultérieur de la Société Française des Electriciens, la théorie de la mécanique ondulatoire telle que l'a créée en 1924, son frère M. Louis de BROGLIE. Il montre que le développement des idées de MAUPERTUIS, de FERMAT, d'EINSTEIN et de PLANCK, conduit à considérer qu'un point matériel dans son déplacement n'obéit pas à la loi ancienne de l'inertie, mais dirige son déplacement de façon à suivre les rayons d'une onde associée, sorte de pilote de sa direction. S'il s'agit d'un flot de points matériels animés d'une même vitesse et si l'onde qui dirige leur mouvement rencontre des fentes fines susceptibles de produire en optique des diffractions, le flot des points se partagera en faisceaux bien définis, correspondant aux rayons diffractés de l'optique classique. Si l'on a affaire à des électrons de masse extrêmement faible, lancés sous des tensions comprises entre quelque cent mille volts, la longueur de l'onde peut prendre une valeur appréciable et l'expérience peut être tentée. En effet, DAVISSON et GERMER en 1925, puis G.-P. THOMSON, l'Allemand RUPP et le Français PONTE ont obtenu par divers procédés, des diffractions très nettes d'électrons dont le conférencier projette les images. Il conclut que cette confirmation expérimentale donne désormais à l'optique le pas sur la mécanique et ouvre une voie toute nouvelle à la physique des atomes.

M. BARBILLION fait une communication sur *les tendances actuelles*

en matière de régulateurs de turbines hydrauliques pour stations centrales. Il expose la théorie de la régulation et montre l'insuffisance des régulateurs tachymétriques. La combinaison du tachymètre et de l'accéléromètre permet, au contraire, d'obtenir une régulation beaucoup meilleure; le conférencier projette des courbes montrant les résultats obtenus, ainsi que des vues des appareils réalisés.

M. BAYLE demande au conférencier s'il connaît une réponse, faite ou à faire, au problème du régulateur centrifuge élémentaire, qu'il soit isocinétique (à vitesses d'équilibre indépendantes des courbes); hypercinétique (à vitesses d'équilibres croissant avec les couples); ou hypocinétique (à vitesses décroissantes pour les couples croissants, comme c'est le cas usuel). Les périodes et les amplitudes sont-elle croissantes dans le premier cas, constantes dans le second, décroissantes dans le troisième?

M. BARBILLION répond que la question soulevée englobe tout le problème de la régulation directe, on peut cependant répondre sommairement que c'est la stabilité du groupe régulateur-machines qui prévaut dans le problème de la régulation : elle suppose qu'au delà du point d'équilibre, les caractéristiques des moteurs croissent moins vite que celles des dynamos. La pratique des stations centrales à tension constante impose une vitesse décroissante quand la charge augmente, mais dans les stations à courant continu série, la vitesse croît avec la puissance débitée, le régulateur est tachymétrique et la caractéristique a un coefficient angulaire positif. Si on suppose le couple-moteur proportionnel à l'admission et le régulateur parfait la courbe de variation de vitesse, que le régulateur soit hyper ou hypocinétique, est à allure exponentielle négative.

RAPPORTS PRÉSENTÉS A L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

du Mercredi 10 Avril 1929

Rapport du Comité d'Administration.

Messieurs,

Développement de notre Société. — Grâce aux efforts de tous, et malgré le relèvement de la cotisation auquel nous avons dû procéder le nombre de nos membres atteint aujourd'hui tout près de 2 500, dont 78 Sociétés. Nous comptons que la progression continuera et nous souhaitons vivement qu'au début de l'année 1930, nous ayons la joie d'accueillir notre 3 000^e membre.

Nous nous permettons notamment d'insister pour que les Sociétés viennent à nous de plus en plus nombreuses. Vous trouverez, plus loin un aperçu des travaux poursuivis soit par la Société, en Séances publiques, soit par ses Sections en séances mensuelles et à la Semaine d'octobre. Les rapports de nos groupes locaux, insérés au même Bulletin vous retraceront, de même, leur activité.

Cette vue d'ensemble vous convaincra, nous l'espérons, de l'intérêt que présentent, pour tous les électriciens, les études de notre Société. On a pu dire avec raison que votre Bulletin, en reproduisant les rapports présentés et les discussions qu'ils soulèvent, constitue une Revue très particulière en ce sens qu'elle est rédigée par ses lecteurs eux-mêmes. Ceux de nos membres qui fréquentent, de plus en plus nombreux, nos séances de Sections, en rapportent, le plus souvent, des renseignements fort intéressants, émanant des spécialistes les plus qualifiés. Nous tenons à rappeler une fois de plus, que nos Sections, qui se réunissent chaque mois, sont ouvertes en permanence à tous ceux de nos membres qui le demandent et accueillent avec empressement, pour traiter un sujet déterminé, les personnes étrangères à la Société; d'autre part, les observations faites en Séance ne paraissent au Bulletin que si leurs auteurs ont fait connaître leur accord.

ACTIVITÉ TECHNIQUE DE LA SOCIÉTÉ.

Séances publiques mensuelles.

Nous avons entendu traiter dans nos séances publiques mensuelles, les sujets ci-après :

Commutateurs de prise à haute tension. Lignes souterraines à 132 000 V. Propagation des ondes électromagnétiques; ondes courtes projetées; télégraphie optique; écoulement rapide des signaux; applications nouvelles des lampes à 4 électrodes. Effet Wiedemann; ionisation des gaz. Oscillographe cathodique Dufour. Protection du personnel dans la fabrication des ampoules à rayons X; calculs physiques et unités; pianocanto.

Travaux des Sections.

Voici la liste des sujets étudiés par nos Sections dans leurs séances mensuelles :

1^{re} Section. — Moteurs de laminoirs; autoamorçage des machines asynchrones; champ de fuite des transformateurs; effets mécaniques sur les enroulements; mesure de la réactance transversale des alternateurs; tolérance sur les pertes, sur le facteur de puissance; pertes dans le cuivre des alternateurs et des transformateurs; prise de réglage en charge des transformateurs. — Richesse de la France en énergie des marées.

2^e Section. — Préparation du Congrès de l'éclairage aux Etats-Unis. — Eclairage des studios; éclairage diurne; verres colorés pour signalisation; définition du flux d'une source lumineuse. — Luxmètres.

3^e Section. — Electrolyse; préparation du cadmium; électroanalyse; application de l'ozone; traitements contre la corrosion; accumulateurs alcalins; redresseurs; soudure des éclisses électriques.

4^e Section. — Emploi de l'aluminium; disjoncteurs à huile. Sélection dans les réseaux et protection sélective. Electrobuss.

5^e Section. — Téléphone automatique rural; mesures en téléphonie; direction des ondes; émetteurs de belinogrammes; adaptation du réseau téléphonique français au système téléphonique universel.

6^e Section. — Lois de l'induction; puissance réactive; dispositif dominant, dans un réseau, sans l'emploi de filtres, les composantes symétriques du courant et de la puissance; nouveaux isolants.

En outre, la 2^e Section a publié des rapports de mise au point qui ont porté sur les lampes à arc et à incandescence, les projecteurs, l'éclairage public, l'éclairage intérieur, le calcul des éclairagements, les progrès de l'optique physiologique, les actions thérapeutiques et biologiques de la lumière; l'éclairage des studios, les enseignes lumineuses.

Semaine d'octobre.

Les discussions de notre semaine d'octobre 1928, soigneusement préparées par les Sections, ont porté sur les questions suivantes :

Moteurs de laminoirs, moteurs asynchrones synchronisés; démarrage des moteurs asynchrones; système d'excitation des alternateurs; échauffement des machines; propagation des ondes dans les enroulements.

Mesure du rayonnement ultra-violet; nouvelles unités radiologiques proposées; actinisme et procédés d'éclairage en cinématographie panchromatique; projecteurs à miroirs paraboliques et dispositifs anti-éblouissants.

Electrolyse des chlorures alcalins; fabrication électrolytique des chlorates; électrolyseurs à diaphragmes immergés; machines à souder.

Récupération en traction; protection sélective dans les réseaux; obtention, sans filtres, des composantes symétriques des courants et de la puissance; protection sélective des réseaux; réglementation du démarrage des moteurs asynchrones.

Rélations téléphoniques entre Paris et la proche banlieue; télétype et télémixte; stérographe.

Chauffage par induction; éclateurs de fours à haute fréquence; puissance et énergie réactives.

Nous avons eu le plaisir de voir, au cours de l'année, d'éminents étrangers MM. BUDEANU, DELLA RICCIA, EMANUELI SOMAJNI, participer à nos travaux.

Bibliothèque. — Grâce au dévouement éclairé de notre Bibliothécaire, M. DOIZAN, les 10 000 volumes que renferme la Bibliothèque établie dans les nouveaux locaux de Malakoff, sont complètement classés et le système de fiches adopté en permet la délivrance immédiate.

25 000 fiches de documentation scientifique et technique, établies suivant la classification décimale, font de notre Bibliothèque un véritable centre de documentation appelé à rendre les plus grands services aux Savants, aux Ingénieurs et aux Elèves de l'Ecole.

Visites. — Nous avons été invités, en juin dernier, par notre collègue M. Josselin COSTA DE BEAUREGARD, à visiter le très intéressant totalisateur du pari mutuel, installé à Longchamp par les Etablissements Lepaute et au cours de la semaine d'octobre, diverses Sociétés et administrations amies nous ont ouvert les installations et les usines les plus intéressantes et les plus modernes de la région parisienne. Nous prions les Directeurs et Administrateurs auxquels nous sommes redevables de ces visites, de trouver ici l'expression de notre plus vive reconnaissance.

Séances communes. — Nous avons tenu plusieurs séances communes avec des Sociétés savantes et techniques, deux avec la Société des Ingénieurs civils de France, une avec la Société des amis de la T. S. F. et la Société de Biologie, une enfin avec la Société des amis de la T. S. F. au cours de laquelle nous avons remis, sur les fonds du legs Ancel, des prix à MM. DECAUX, FOURNIER et FROMY.

Représentations aux congrès. — MM. LEBLANC et JOUAEST nous ont représentés au Congrès mondial de l'éclairage aux Etats-Unis; M. Blondin au Congrès de l'Association pour l'avancement des Sciences, à la Rochelle.

Inauguration de la Maison de Poleymieux. — Au mois de juin 1928, nous avons eu la satisfaction d'inaugurer à Poleymieux, la maison qui abrita la jeunesse d'Ampère et que nous devons au geste très généreux de MM. HERMAND et SOSTHÈNE BEHN. Cette cérémonie, à laquelle participèrent, avec une importante délégation de l'Académie des Sciences, les représentants de la Société de Physique, de la Société des Ingénieurs civils de France, des Ecoles Normale, Polytechnique, Supérieure d'Electricité, Centrale des Arts et Manufactures; de l'Université de Lyon, etc... laissera un souvenir ineffaçable à tous ceux qui y prirent part.

Une plaquette contenant tous les discours prononcés et la magistrale conférence faite le même jour à Lyon par M. Paul JANET, a été envoyée à tous nos membres.

Nous tenons à renouveler ici notre plus vive reconnaissance à notre groupe du Sud-Est qui a assumé tous les frais de l'inauguration et à ses très actifs Secrétaires généraux MM. DUMONT et RIVIÈRE dont les talents d'organisateurs ont assuré le plein succès de cette fête.

Membres décédés. — Nous rappelons ici les noms de ceux de nos

collègues que la mort nous a enlevés depuis le mois d'avril 1928 : MM. RICCARDO ARNO, BAINÈRES, BENOIST, BIZET, CREIGHTON, DEHENNE, LABOUR Ed., MENJOU, PARSONS F., PERRIN P., LAZARE, WEILLER, et WIDMER H. Nous renouvelons à leurs familles l'expression de nos plus sincères condoléances.

Distinctions. — Depuis avril 1928, les distinctions suivantes ont été attribuées à des membres de notre Société, dans l'ordre de la Légion d'Honneur :

Commandeurs : MM. MILON et J. REY.

Officiers : MM. BRAIT de la MATHE, GRANAT, ROBARD, SEMENZA.

Chevaliers : MM. BERGERET, BLARINGHEM, COLARDEAU, GRANDJEAN. HEILMANN, LANGE Ch., MICAUD, REMAUGÉ, VIEL.

Nous terminerons en constatant que l'activité et le développement de notre Société ne se ralentissent pas, tout au contraire, et en exprimant le vœu qu'elle justifie de plus en plus l'adage qu'elle paraît avoir heureusement pris pour devise :

« *Vires acquirit eundo* ».

Rapport de la Commission des Comptes.

Messieurs,

Avant d'analyser devant vous les résultats de l'Exercice 1928 dont vous nous avez chargés de vous rendre compte, nous croyons qu'il importe d'attirer votre attention sur les conditions dans lesquelles ils ont été obtenus et de vous mettre en garde contre une appréciation trop optimiste à laquelle pourrait conduire une première impression et dont on tirerait des conclusions que les faits démentiraient certainement.

L'Exploitation de la Société Française des Electriciens laisse un excédent bénéficiaire, mais cet excédent n'est dû, pour la presque totalité, qu'aux concours dont ont bénéficié les Services à mesure de leur développement; le capital s'est augmenté dans les écritures de plus de 6 000 000 de décembre 1927 à décembre 1928, mais ceci est dû à ce que les travaux de Malakoff étant terminés et les conditions mises à l'emploi des subventions *versées depuis 1924* pour l'Ecole, remplies, ces subventions qui figuraient jusqu'ici à notre Passif, ont pu être considérées comme acquises à la Société et venir grossir son capital; cette augmentation n'est donc pas le produit d'une gestion particulièrement heureuse, elle n'est pas davantage le fruit d'une année unique, mais la conséquence de libéralités réparties sur plusieurs périodes et qui viennent se totaliser aujourd'hui; elle n'est, enfin, nullement la preuve d'une situation prospère. D'autre part elle ne procure à aucun degré à la Société les ressources liquides dont elle a besoin pour l'exploitation de ses divers services, parce que ce supplément d'actif a été immobilisé dans des opérations de 1^{er} Etablissement.

Ces réserves faites nous allons vous exposer les différentes observations qu'appellent les chiffres qui vous sont soumis.

Grâce aux libéralités qui lui ont été faites en 1928, la Société Française des Electriciens présente un solde bénéficiaire :

Pour le Laboratoire de 39 314 fr. 05, l'Ecole de 132 776 fr. 21 la Société Savante de 3 975 fr. 80, les Services Généraux de 4 069 fr. 30, au total de 180 135 fr. 36. Par suite de cette circonstance comme aussi par suite de l'incorporation dans la comptabilité de subventions importantes définitivement acquises à la Société provenant tant des Services Publics que des Industriels, le Bilan fin décembre 1928 fait, par comparaison avec son devancier, ressortir pour le ca-

pital un accroissement de 6 880 774 fr. 95; mais c'est là, malheureusement, une situation dont le maintien est rien moins qu'assuré.

Voici d'ailleurs comment pour chaque Service s'établissent le Compte d'Exploitation et la partie du Bilan qui le concerne :

LABORATOIRE.

Exploitation. — Aux recettes vous constaterez le développement considérable des essais et vous regretterez que l'arrêt des essais d'accumulateurs de la Marine n'ait pas permis à ce développement de prendre toute son ampleur.

Vous constaterez également l'apparition des versements sur la Taxe d'Apprentissage qui fournissent un appoint intéressant à notre Budget.

Aux dépenses nous n'avons rien à vous signaler; si sur certains points les prévisions du Budget se trouvent légèrement dépassées, les raisons sont nombreuses qui justifient ce dépassement; dans l'ensemble d'ailleurs tout se tient bien.

Le Bilan par comparaison avec le Bilan de 1927 présente des modifications par suite des travaux exécutés pour l'installation du Service dans les anciens locaux de l'Ecole (103 768 fr. 20), par suite des compléments d'installation de la salle de Haute Tension (184 019 fr. 04 dont la charge est supportée par la subvention des Travaux Publics, par suite de l'acquisition de certains appareils destinés à maintenir notre matériel dans de bonnes conditions industrielles (19 198 fr. 70), enfin par l'affectation au Compte d'amortissement d'une somme de 50 000 francs qu'il serait bien désirable de pouvoir faire plus importante.

Ces différents changements, compte tenu de certaines réductions par ailleurs, représentent une augmentation d'Actif de 203 217 fr. 74 d'une année sur l'autre.

ECOLE.

Exploitation. — L'Exercice 1928 est le premier que l'Ecole ait vécu à Malakoff, aussi les données exactes pour l'établissement du Budget qui s'y rapporte manquaient-elles et ce n'est pas sans un peu d'hésitation qu'avaient été adoptés les chiffres qui y figurent, il avait même paru prudent pour parer à toute éventualité d'y porter une réserve pour imprévus de 50 000 francs, destinée à être répartie entre les chapitres dont les dotations se seraient révélées insuffisantes. Après les

compensations faites entre eux des excédents des uns et des économies des autres, cette mesure s'est trouvée inutile.

Recettes. — Ce résultat est dû pour la plus grande part à ce que :

1° les frais d'études ont, par suite de la méthode adoptée pour leur évaluation, dépassé de plus de 60 000 francs, la prévision inscrite malgré une réduction du nombre des élèves;

2° la Section de Radio a été très fréquentée;

3° les intérêts des fonds placés sont en sensible augmentation; la Société pouvant dorénavant réemployer en valeurs de bourse les sommes qu'elle avait dû affecter momentanément au fonds de roulement de la Reconstruction de Malakoff, va tirer de ces placements un meilleur rendement.

Les Dépenses dans l'ensemble s'éloignent peu du total qu'elles semblaient devoir atteindre. A l'occasion de celles-ci il y a lieu de signaler l'effort commencé par la Société pour améliorer la situation de son personnel et donner à ses conférenciers des honoraires qui se rapprochent de ceux alloués par les Grandes Ecoles. Cet effort s'est poursuivi en 1929.

Bilan. — Le Bilan 1928 présente de grandes différences avec le Bilan 1927 parce que les travaux de Malakoff pouvant être considérés comme terminés, leur comptabilité, qui avait été tenue jusqu'ici à part, a été incorporée en grande partie dans celle de l'Ecole; celle-ci est devenue ainsi officiellement propriétaire de toutes les acquisitions et installations et par contre débitrice de toutes les sommes consacrées à ces opérations, déduction faite, bien entendu, des subventions gratuites allouées à cette occasion.

D'autre part une somme de 80.000 francs a été affectée à l'amortissement du matériel, somme bien réduite si on la compare à l'actif (plus de 4 000 000) en vue duquel elle est constituée.

En ce qui concerne les constructions nous avons pu affecter à leur amortissement les 77 982 fr. 56, devenus sans emploi du Compte amortissement du portefeuille pourvu par ailleurs.

Les différents changements dont les plus importants viennent d'être signalés, ont fait passer l'excédent de l'Actif sur le Passif :

de 2 313 577 fr. 45 en 1927.

à 8 666 353 fr. 66 en 1928.

SOCIÉTÉ SAVANTE ET SERVICES GÉNÉRAUX.

Exploitation. — La Société a vu s'accroître sensiblement le nombre de ses membres; il en est résulté une augmentation appréciable de ses recettes (17 000 fr.).

Les Services Généraux n'appellent pas d'observations.

Bilan. — La Société Savante et les Services Généraux ont recueilli de différents côtés des libéralités qui ont accru leur actif, notamment la Maison Ampère, la Bourse Paul Janet, etc...

Le fonds social s'est augmenté des réserves habituelles.

Enfin, par le maintien dans les livres des valeurs mobilières à leur prix d'achat, s'est constituée une réserve latente non négligeable.

Par contre la réintégration dans les écritures d'un certain nombre de comptes de la Reconstruction qui formaient jusqu'ici une partie séparée du Bilan et étaient déficitaires, a causé une diminution importante; d'où une compensation entre les gains et les pertes qui laissent l'excédent au 31 décembre 1928 de l'Actif sur le Passif à peu près au même point qu'il était fin 1927.

Si, de la partie spéciale du Bilan qui concerne la Société Savante, et les Services Généraux, nous passons au Bilan de la Société Française des Electriciens tout entière, nous voyons que, grâce aux circonstances qui ont été exposées plus haut, notamment aux chapitres Laboratoire et Ecole, la valeur de l'Actif s'élève aujourd'hui à 25 636 094 fr., le Passif n'étant que de 14 719 052 fr. 69, et établissant ainsi le capital à 10 917 041 fr. 31 en augmentation de 6 880 774 fr. 95 sur ce qu'il était au 31 décembre 1927.

Telles sont les considérations que nous avons à vous soumettre; elles devraient nous donner, au point de vue financier, confiance dans l'avenir. Mais comme nous l'avons dit au début de ce rapport, les causes auxquelles est due cette prospérité apparente appellent les plus sérieuses réserves. Nous ajouterons que les conditions générales économiques, les exigences fiscales qui vont augmenter, dès 1930, les charges de l'Ecole dans des proportions extrêmement onéreuses, les transformations qu'entraîne pour les différents Services le développement de l'Industrie, imposent la certitude que les dépenses progresseront dorénavant à une allure que ne suivront pas les Recettes, il s'en faudra de beaucoup, et la Société Française des Electriciens ne pourra se passer d'une aide extrêmement importante. Il est à espérer que l'Industrie électrique d'abord en vue de qui et pour qui la Société dépense sur-

tout son activité, l'Etat et les Administrations Publiques à qui l'Ecole et le Laboratoire apportent un concours qui leur évite de lourdes dépenses en se substituant à eux pour l'organisation d'Ecoles d'application et d'institutions de contrôle et de mesure, toutes les Industries enfin, plus ou moins étroitement tributaires des progrès de l'Electricité comprendront qu'un grand intérêt général est en jeu dans la circonstance et justifie largement les sacrifices qu'on leur demande de consentir pour permettre l'existence d'organismes qui ont fait leurs preuves mais ne sauraient plus vivre par leurs seuls moyens.

COMPTE D'EXPLOITATION DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

EXERCICE 1928

RÉSUMÉ DE L'EXPLOITATION

	RECETTES	DEPENSES	EXCÉDENT	
			DE RECETTES	DE DÉPENSES
Laboratoire	579.233 70	539.919 65	39.314 05	
Ecole	1.348.564 75	1.215.788 54	132.776 21	
Société Savante	161.907 45	157.931 65	3.975 80	
Services généraux	152.222 78	148.153 48	4.069 30	
	2.241.928 68	2.061.793 32	180.135 36	

Excédent de recettes : 180.135 36

EXPLOITATION 1928

Laboratoire Central d'Électricité.

Budget 1928	Recettes	Dépenses	Budget 1928
7.903 »	Arrrages de la rente.....	Personnel	314.004 80
350.000 »	Redevances pour essais et étalonnements.	Frais d'administration :	
	Redevances des élèves et des tiers.....	Frais de bureau, correspondance et divers	14.263 »
	Recettes diverses	Chauffage	32.619 55
		Eau, Electricité	9.594 »
		Téléphone	4.112 55
		(A l'unité d'éclairage	400 »
		Opérations et essais taxés :	
134.797 »	Déficit industriel 129.655 70	Moteurs à gaz et électriques.....	36.717 90
	couvert par :	Produits	9.092 25
	souscriptions pour 129.655 70	Atelier	1.396 11
30.000 »	celles-ci s'éle-	Déplacement du personnel.....	16.743 15
	vant à 168.969 75	Dépenses pour clients.....	4.138 10
	savoir :	Loyers, impôts, assurances	6.603 35
	sous. ordin.... 16.200 »	Entretien des bâtiments.....	21.785 »
	sous. taxe ... 152.769 75	Entretien des machines et appareils.....	18.449 90
	laissent un reliquat de... 39.314 05	Expériences et recherches.....	»
		Amortissements :	
		Matériel 5 %..... 35.000 »	50.000 »
		Constructions 3 %..... 15.000 »	
		Solde créditeur faisant emploi de la totalité des souscriptions.....	539.919 65
			39.314 05
522.700 »			579.233 70

Immobilisations

En dehors des opérations ci-dessus qui concernent l'Exploitation		Nous avons dépensé (voir au bilan) :	
Nous avons reçu (voir au bilan) :		Pour salle haute tension.....	
Subvention Travaux Publics, Solde.....	67.541 »	Pour acquisition de matériel.....	184.019 04
Et autres	19.198 70	Pour transformation des locaux.....	19.198 70
Sur fonds généraux de la Société.....	103.768 60		103.768 60

École Supérieure d'Électricité 5.

Budget 1928	Recettes	Dépenses	Budget 1928
870.000 »	Redevances des élèves et auditeurs (Frais d'études, Section normale, Sorbonne).....	Personnel	392.837 90
35.000 »	Fouritures diverses	Frais d'administration : Frais de bureau, correspondance et divers	19.834 15
75.000 »	Autographies.....	Chauffage	54.585 67
		Eau et éclairage.....	10.701 43
		Téléphone	3.704 05
		Travaux des élèves :	
		Moteurs à gaz et électriques.....	29.409 75
150.000 »	Frais d'études	Produits et dépenses diverses.....	9.964 40
30.000 »	Section d'éclairage	Atelier	35.330 65
5.000 »	Souscriptions	Conférences, projets, examens, etc.....	138.448 10
40.000 »	Intérêts des fonds placés.....	Fournitures diverses	36.652 55
2.000 »	Subvention de la ville de Paris.....	Autographies	99.049 40
	Recettes diverses	Sorbonne	16.220 50
	Dons en nature.....	Section d'éclairage	22.458 75
		Radiotélégraphie	113.883 95
		Impôts, assurances	13.126 41
		Entretien des bâtiments.....	13.876 60
		Entretien des machines et appareils.....	10.603 45
		Bibliothèque	2.906 30
		Versement du 1/10 ^e des revenus.....	5.155 45
		Reconstruction Ecole	56.028 94
		Amortissement :	
		Matériel	80.000 »
		Constructions.....	»
		Déplacements et autos.....	50.920 12
		Réserve pour imprévus.....	»
		Solde créditeur de l'exploitation.....	1.215.788 54
			132.776 21
			1.348.564 75
1.222.000 »			1.222.000 »

Immobilisations :

En dehors des opérations ci-dessus qui concernent l'Exploitation, la Société Française des Electriciens a fait passer aux comptes de l'Ecole les subventions qui ont été appliquées à la Construction de Malakoff :

Etat, ville et département.....	6.000.000 »	Voir au bilan
Divers	230.000 »	
et toutes les dépenses de construction et d'installation à Malakoff.		

Société Française des Électriciens.

A. — Société savante. — Exploitation 1928.

Recettes		Dépenses	
Budget 1928			Budget 1928
135.000 »	Colisations de l'exercice.....	152.214 »	Frais de publication : Bulletin affilié
4.655 »	Prélèvement sur intérêts pour part con-		Semaine d'Octobre.....
	tributive des cotisations libérées dans		Frais de réunions :
	la dépense du Bulletin.....		Location de salles..... 2.456 50
3.500 »	Recettes Bulletin.....	5.000 »	Sténo, Semaine d'Octobre... 2.050 »
17.345 »	Solde débiteur	4.693 45	Frais d'administration
			Frais de correspondance... ..
			Personnel
160.500 »		161.907 45	Cotisations irrécouvrables
			Solde créditeur
			160.500 »

B. — Services généraux. — Exploitation 1928.

65.000 »	Intérêts des fonds placés.....	63.200 03	Prélèvement sur intérêts pour Société
12.000 »	Intérêts des legs et fondations.....	30.490 07	Savante
65.000 »	Versement de l'Ecole pour la Recons-		Bourses et Fondations :
	truction : intérêts des avances.....	52.123 97	payées..... 11.361 35
1.000 »	Souscriptions	1.075 70	à payer..... 19.128 72
500 »	Recettes diverses	5.335 01	Colisations à Comités divers.....
			Versement à la Société Nouvelle : inté-
143.500 »		152.222 78	rêts des avances.....
			Entretien de la bibliothèque.....
			Frais de représentation.....
			Frais d'administration
			Frais de correspondance.....
			Personnel
			Pensions
			Solde créditeur
			148.153 48
			4.069 30
			152.222 78

A et B. — Immobilisations (Voir au bilan).

Les Services ont reçu au cours de l'année pour versement du 1/10 ^e du revenu de l'Ecole.....	5.155 45
Les Services ont reçu pour cotisations libérées à porter au fonds social	6.584 55
Il a été porté au capital des legs et fondations pour intérêts capitalisés	7.508 85
La Société a inscrit à son actif :	
La Maison Ampère.....	240.000 »
Et la Bourse P. Janet.....	57.487 05
Il a été versé sur actions Société Nouvelle.....	595.000 »
La Société a cédé des actions de la Société Nouvelle pour.....	123.000 »
Il a été versé (sur les intérêts) au fonds social la retenue statutaire 1/10 ^e + le versement du 1/10 ^e de l'Ecole et les cotisations libérées	18.060 »

EXERCICE 1928

BILAN DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Résultats 1927	ACTIF	1 ^{re} , 2 ^e et 3 ^e parties.	PASSIF	Résultats 1927
48.355 20	Bibliothèque et mobilier.....	48.355 20	Avances	370.903 60
8.010.308 68	Immeubles et constructions.....	10.161.546 13	Créanciers :	
3.785.236 80	Matériel	5.116.304 46	Extérieurs	6.597.346 50
1.871.806 66	Portefeuille	2.150.979 37	Services intérieurs de la S.F.E. entre eux. 5.395.048 73	11.992.395 23
2.692.878 42	Caisse et Banques.....	2.023.577 18	Amortissements	635.927 79
	Débiteurs divers :		Réserves	1.719.826 07
	Extérieurs	740.282 93	Capital	10.917.041 31
2.532.774 11	Services intérieurs de la S.F.E. entre eux. 5.395.048 73	6.133.331 66		
18.441.259 87		25.636.094 »		4.036.266 36
				25.636.094 »
				18.441.259 87

BILAN 1928

1^{re} PARTIE. — Laboratoire.

Résultats 1927	ACTIF		PASSIF		Résultats 1927
2.975 40	A. — Bibliothèque et mobilier.		I. — Crédoiteurs.....		61.883 30
	Bibliothèque		J. — Amortissements.		
	B. — Constructions.		Matériel :		
531.739 63	Constructions	529.462 63	Antérieurs	88.567 20	
	Canalisations	2.277 »	1928	35.000 »	123.567 20
	Transformation des locaux de l'Ecole...		Constructions :		
	C. — Instruments et matériel.		Antérieurs	46.487 15	
	Antérieurs	665.599 19	1928	15.000 »	61.487 15
	1928. Acquisitions	19.198 70	K. — Réserves.		
665.599 19	Moins ventes	684.797 89	Réserve pour salle haute tension :		
	65 »	684.732 89	Subvention Travaux pu-		
	Salle haute tension :		blics et autres.....	465.541 »	
106.320 28	Antérieurs	106.320 28	moins dépenses.....	290.339 32	175.201 68
	1928	184.019 04	Souscriptions en réserve.....		21.712 55
	E. — Caisse et banque.		Souscriptions sur taxe d'apprentissage		
185.721 35	Caisse	48.553 71	1929	190.526 50	157.769 75
640 »	Cautionnements	640 »	Consignation Syndicat Radio-Electrique	22.025 »	»
450.440 32	F. — Débiteurs divers.....	506.302 47			
1.943.436 17		2.169.051 62		656.403 38	634.005 67

Actif 2.169.051 62

Passif 656.403 38

Excédent de l'actif..... 1.512.648 24

2^e PARTIE. — Ecole

Résultats 1927	ACTIF	PASSIF	Résultats 1927
	B. — Immeubles.	H. — Avances.	
	Terrain Malakoff	Redev. Elèves 29.....	181.000 »
92.961 70	Constructions	Autographies 29.....	46.058 60
487.767 80	C. — Instruments et matériel.....	Redev. Radio 29.....	139.940 »
1.096 70	Marchandises en transit.....	I. — Créanciers.....	366.998 60
			5.015.971 73
	D. — Portefeuille.	J. — Amortissement du portefeuille.....	»
163.007 »	Fonds de réserve.....	Réserve de profits sur valeurs mobilières.	77.982 56
432.947 »	Fonds disponibles	Amortissement du matériel et des constructions :	102.402 16
		Constructions	77.982 56
	E. — Caisse et banques	Matériel	136.005 15
2.079 97	Caisse		213.987 71
143 35	Cautionnement	K. — Réserve.	
		Réserve Radio	37.678 35
1.997.297 38	F. — Débiteurs divers.....	Souscription sur taxe d'apprentissage 1929	»
3.177.300 90			1.000 »
			5.737.038 55
			863.723 45

Actif	14.403.392 21
Passif	5.737.038 55
Excédent de l'actif.....	8.666.353 66

Résultats 1927	ACTIF	PASSIF	Résultats 1927
3.389 80	A. — Bibliothèque et mobilier.	H. — Avances.	5.514 »
41.990 »	Bibliothèque	Colisations anticipées	3.905 »
	B. — Immeubles.	I. — Créanciers.	
1.296 »	Maison Ampère	Divers	6.914.540 20
	C. — Matériel.	J. — Amortissement du portefeuille.	20.776 34
	Fonds Journée Pasteur	Amortissement	113.707 23
	D. — Portefeuille.	K. — Réserves.	
	Fonds de réserve :	Réserve générale	31.308 25
141.166 71	Valeurs mobilières..... 159.355 21	Réserve pour étalon de Lumière Blanche.	24.028 »
196.304 50	Espèces..... 18.214 98	Réserve pour concours	25.903 05
44.410 50	Fonds disponibles	Réserve pour souscription avec affecta- tion spéciale (Comité des Chemins de fer, etc.)	1.156.442 69
	Compte dépréciation du portefeuille.....	Subvention Laboratoire de Mesures.....	35.000 »
	Actions Société Nouvelle.....	CAPITAL	8.325.010 76
	Legs et Fondations.		10.917.041 31
41.477 50	Legs Hughes		19.242.652 07
44.300 10	Legs Cheux		
4.234 37	Fondation Cohen		
7.520 65	Fondation Joubert		
39.600 »	Fondation Guyau		
10.821 33	Legs Ancel		
69.575 »	Bourse Franz Hueber, Regnault.		
31.442 »	Bourse Guinochet		
	Bourse F. Janet.		
	E. — Caisse et Banques.		
84.457 16	Caisse		
40.841 42	Crédit Lyonnais		
2.360.857 33	Crédit Commercial		
18.096 54	Chèques postaux		
41 30	Caisse Dépôts		
	Libert		
	F. — Débiteurs divers.		
5.158 80	Courants		
	Remboursement à Société Nouvelle		
3.186.981 01			
		Actif	9.063.650 17
		Passif (Capital déduit)	8.325.610 76
		Excédent de l'actif.	738.039 41

RAPPORT ANNUEL SUR LE LABORATOIRE CENTRAL ET L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ

par M. Paul JANET.

Directeur.

I. — Laboratoire central d'électricité.

Personnel. — Le personnel technique du Laboratoire en 1928 a comporté au maximum dix-huit personnes dont voici la répartition :

Le Directeur, le Sous-Directeur, le Sous-Directeur Adjoint, cinq ingénieurs, quatre préparateurs, quatre électriciens et un mécanicien.

Ce poste de mécanicien est une création récente. Jusqu'ici le Laboratoire ne disposait d'aucun atelier et devait avoir recours à celui de l'Ecole pour les travaux de petite mécanique dont il avait besoin. Le transfert de l'Ecole à Malakoff a permis l'organisation d'un atelier spécialement affecté au service du Laboratoire, ce qui, tout en entraînant des frais nouveaux, constitue une amélioration considérable.

Notons une fois de plus avec regret le manque de stabilité de ce personnel.

Sur les cinq ingénieurs mentionnés plus haut, trois nous ont quittés dans le courant de 1928 et n'ont pu être remplacés que tout récemment. Des remplacements provisoires ont été assurés au moyen de préparateurs ce qui a compliqué encore la tâche si lourde de nos chefs de service. Nous avons tout lieu d'espérer que les améliorations de traitements décidées en principe par la Commission du Laboratoire et qui ont déjà reçu un commencement d'exécution mettront rapidement fin à cette situation regrettable.

Matériel. — Parmi les principales acquisitions de 1928, nous signalerons : un oscillographe cathodique de Dufour, un moteur asynchrone synchronisé de 8 kW, deux condensateurs variables à air, un fréquence-mètre.

Nous mentionnerons tout particulièrement un régulateur de tension destiné aux essais de durée de lampes à incandescence.

Parmi les commandes faites et non encore livrées nous signalerons un alternateur de faible puissance à 1 000 périodes par seconde, destiné aux mesures en courant alternatif par la méthode du pont à téléphone et un appareil de Delon pouvant fournir 250 000 volts en tension continue.

Installations nouvelles. — Dans mon rapport sur le fonctionnement du Laboratoire en 1927, je signalais la mise en service de l'installation pour essais de haute tension jusqu'à 350 000 volts avec une puissance de 200 kVA que nous avons pu organiser, grâce à diverses subventions accordées par le Comité d'études et de recherches pour l'aménagement des forces hydrauliques, comité constitué par le Ministère des Travaux publics.

Nous avons continué l'organisation de cette installation. C'est ainsi que nous avons établi dans la salle d'essais un réservoir contenant 6 000 litres d'huile de transformateur, de façon à pouvoir essayer certains isolateurs immergés dans l'huile.

Cette installation sera prochainement complétée par l'appareil Delon signalé plus haut.

Le transfert de l'Ecole à Malakoff, laissant à la disposition du Laboratoire les locaux qu'elle occupait rue de Staël, nous avons commencé en 1928 l'aménagement de ces locaux en vue de l'extension de nos services qui depuis de longues années étaient beaucoup trop à l'étroit. Ces modifications importantes qui doivent être effectuées sans arrêter les travaux du Laboratoire sont actuellement en cours : elles seront terminées dans le courant de 1929.

Dès maintenant, nous avons pu dans les locaux disponibles procéder à l'organisation dont il a été question plus haut de l'atelier pour lequel nous avons acquis un matériel aussi perfectionné que le permettaient les faibles crédits dont nous disposions; nous attendons les plus grands services de cet atelier qui nous permettra la réalisation rapide des dispositifs ou appareils exigés par les recherches ou le service courant du Laboratoire.

Essais : Le nombre des essais s'est élevé à 2 190 en 1928 contre 1 551 en 1927.

Les recettes qui étaient de 383 600 francs en 1927 ont été en 1928 de 401 000 francs.

Comme on le voit le nombre des essais a subi une forte augmentation, c'est un état de choses dont on doit évidemment se féliciter, mais

il convient de faire à ce sujet les mêmes réserves que l'année dernière.

L'exécution des essais occupe toute l'activité du personnel malheureusement insuffisant du Laboratoire, ne laissant aucun instant de libre pour les recherches et en particulier pour l'étude de perfectionnements à apporter aux méthodes de mesure. Là encore il y a à faire un effort considérable pour lequel l'appui de la Commission du Laboratoire et de tous ceux qui s'intéressent à son développement nous soit entièrement acquis.

Nous donnons ci-dessous la répartition des essais dans les diverses catégories :

	1927	1928
Lampes à incandescence.....	439*	683**
Fers et tôles.....	167	753
Systèmes d'éclairage divers.....	136	114
Haute tension.....	102	150
Voltmètres	93	61
Ampèremètres	80	68
Transformateurs	58	96
Piles	47	26
Résistivités } Conducteurs.....	42	39
} Isolants.....	14	19
Compteurs divers	37	37
Machines	21	41
Wattmètres	19	16
Compteurs Ministère	16	2
Isolements	6	1
Oscillographes	5	9
Accumulateurs	4	24
Paratonnerres	2	4
Divers	263	47

Si on examine le tableau que nous donnons ci-dessus, on est frappé de l'augmentation des essais de matériaux. On se rend compte que de plus en plus l'industrie cherche à connaître exactement la nature des substances magnétiques ou isolantes qu'elle utilise. J'avais déjà signalé en 1927 qu'une importante maison de Constructions avait chargé

(*) Portant sur 993 lampes.

(**) — 1863 —

le Laboratoire de contrôler la qualité de tous les matériaux magnétiques qu'elle emploie. Ce contrôle a continué en 1928; il serait à souhaiter que cet exemple soit suivi par tous les ateliers de constructions.

Certains essais particuliers nous ont été demandés qui ont exigé la mise en œuvre de méthodes de mesures spéciales, par exemple la détermination des propriétés magnétiques de tôles aux fréquences de 800 à 1 000 périodes par seconde. Un nouveau procédé de mesure que nous comptons communiquer prochainement à la Société a été imaginé et mis en œuvre à ce sujet.

Parmi les essais de matériaux nous citerons également des études comparatives sur diverses variétés de mica.

Comme tous les ans nous avons procédé à un certain nombre d'essais à l'extérieur du Laboratoire, étalonnements de compteurs, essais de câbles après pose, etc...

Nous mentionnerons particulièrement des relevés oscillographiques exécutés sur des réseaux de distribution, soit pour mettre en évidence la cause d'accidents survenus lors de fonctionnement de disjoncteurs soit pour connaître l'influence de moteurs synchrones sur le fonctionnement du réseau.

Nous signalerons aussi des essais comparatifs de divers types d'isolateurs entrepris à la demande d'une société exploitant un réseau de distribution à très haute tension. Ces essais très complets, puisqu'on a cherché à mettre en œuvre toutes les causes susceptibles d'amener des ruptures d'isolateurs (refroidissement, échauffement, etc.) ont été faits à la tension de 400 000 volts, ce qui nous a amené à faire jouer le contrat qui nous permet d'utiliser le cas échéant les ressources du Laboratoire Ampère.

Nous avons continué à essayer les projecteurs d'automobile en instance d'approbation auprès du Ministère des Travaux Publics comme non éblouissants.

Nous utilisons pour ces essais soit les terrasses de l'Ecole à Malakoff, soit, en cas de mauvais temps une salle inoccupée de 40 mètres de longueur où nous avons fait l'obscurité complète de manière à pouvoir opérer pendant la journée.

C'est dans cette salle que nous avons pu faire de très intéressantes recherches sur les appareils dénommés cataphotes en utilisant l'excellent luxmètre de notre Président d'honneur M. BLONDEL.

Nous pouvons également signaler de nombreuses études d'appareils d'éclairage, des mesures de résistance effective de bobines d'induc-

tance aux fréquences téléphoniques, des essais de condensateurs pour les installations téléphoniques sur ligne à haute tension.

Enfin, c'est également au Laboratoire Central d'Electricité que sont effectués les essais pour l'attribution de la marque de qualité U. S. E. Je tiens à préciser que le rôle du Laboratoire se borne à l'exécution des essais et que l'attribution de la marque est faite par un jury spécial, dont les membres assistent aux essais quand ils le jugent nécessaire.

Unités. — Comme je l'ai signalé dans mon précédent rapport, la Conférence Internationale des Poids et Mesures dans sa session de septembre 1927, avait constitué une Commission consultative chargée d'examiner la question des unités électriques, qui sera désormais rattaché au Bureau de Breteuil. Cette commission, qui comprend des représentants des Laboratoires nationaux d'Angleterre, d'Allemagne, des Etats-Unis, du Japon, de la Russie et de l'Italie, s'est réunie à Paris en novembre 1928. M. JOUAUST y représentait le Laboratoire Central d'Electricité. M. VOLTERRA l'éminent mathématicien, Président du Comité international des Poids et Mesures, venu spécialement d'Italie pour présider la séance d'ouverture, a fait au Directeur du Laboratoire Central d'Electricité le très grand honneur de lui confier la présidence des autres séances.

Toutes celles-ci du reste, à part la séance d'ouverture qui a eu lieu au Pavillon de Breteuil, se sont tenues au Laboratoire Central d'Electricité.

Tout un programme de travail auquel la France devra collaborer a été arrêté. Cette collaboration nous amènera non seulement à contrôler la conservation de nos unités par voie d'échange d'étalons secondaires (piles au cadmium et bobines de fil métallique) avec les Laboratoires étrangers, mais aussi à reprendre la détermination des unités en valeur absolue. C'est ainsi que nous envisageons une nouvelle détermination de l'ohm. On sait qu'il est à peu près certain aujourd'hui que l'ohm international et l'ohm vrai diffèrent d'environ 5 dix millièmes.

Ces travaux seront exécutés dans les salles réservées à Malakoff pour les travaux de haute précision du Laboratoire Central d'Electricité, salles dont nous poursuivons l'aménagement, grâce aux fonds que nous avons obtenus sur la journée Pasteur. Il est certain que d'importantes ressources seront nécessaires pour poursuivre ces recherches. Dès maintenant, grâce au très bienveillant appui de l'Administration des Télégraphes dont dépend le Laboratoire, nous avons obtenu l'inscription au budget de 1929 d'un crédit de 50 000 francs; nous avons tout lieu d'espérer que cette subvention d'Etat, la première

que sollicite le Laboratoire pour des travaux d'intérêt général, sera renouvelée les années suivantes.

A l'occasion de cette réunion du comité consultatif, nous avons eu l'occasion de comparer nos piles étalons au cadmium avec celles de la Chambre centrale des Poids et Mesures de la République russe.

Les résultats de cette comparaison ont été les suivants :

Élément.	Force électromotrice à 20° C volts internationaux.	
	I. C. E.	C. C. P. M.
129-1	1,01837	1,01841
129-2	1,01836	1,01840

Il résulte de ces comparaisons que le volt international de la Chambre Centrale est inférieur de 47 microvolts à celui du Laboratoire Central.

Dans mon rapport de l'année dernière je signalais que des comparaisons faites en 1926, avaient donné une différence dans le même sens de 50 microvolts.

Les résultats des deux comparaisons sont donc parfaitement concordants.

Nous avons également entrepris des comparaisons photométriques avec les divers laboratoires étrangers, ces comparaisons sont en cours.

Nous pouvons toutefois signaler les résultats des comparaisons faites avec le National Physical Laboratory de Londres.

Il semble en résulter que si les deux Laboratoires sont parfaitement d'accord dans les mesures d'intensité lumineuse, une certaine divergence se manifeste dans les mesures de flux. Nous poursuivons nos recherches pour trouver les causes de cette divergence.

Nous avons également échangé avec le National Physical Laboratory des étalons de coloration (lampes à filament de tungstène amenées à la température de 2 360° K).

Il existe une différence de 8° seulement entre les résultats des deux Laboratoires.

Enfin, nous continuons également notre collaboration avec le Laboratoire de recherches physiques de la Compagnie du gaz de Paris pour l'établissement d'un étalon de brillance, basé sur les propriétés du corps noir.

Collaboration du Laboratoire avec les Sections du Comité de la Société et avec l'Union des Syndicats d'Electricité.

Notre personnel a continué à collaborer activement aux travaux des

sections de la Société et à ceux des diverses Commissions de l'Union des Syndicats d'Electricité. C'est ainsi que M. WAGUET aux séances de discussion de la Société, a présenté deux communications sur les miroirs paraboliques et sur les projecteurs d'automobile.

MM. JOUAUST, de la GORCE et DIERSCH font partie de plusieurs Commissions de l'Union des Syndicats et en particulier M. JOUAUST a été chargé de présider la sous-commission pour la normalisation des culots de triodes.

Commission internationale de l'Eclairage. — M. JOUAUST a fait partie de la délégation française à la session de la Commission internationale de l'Eclairage en septembre 1928 à Saranac Inn (Etat de New-York).

Souscriptions : Depuis de longues années, l'expérience et l'exemple des Laboratoires étrangers analogues au nôtre, ont montré que de tels établissements ne pouvaient vivre sans de larges subventions.

Dans mon rapport de 1927, j'avais signalé que de nombreux industriels avaient bien voulu remettre à la Société française des Electriciens à titre de subvention pour le Laboratoire Central d'Electricité une partie de leur taxe d'apprentissage.

Non seulement les mêmes industriels ont renouvelé en 1928 ce geste généreux, mais d'autres ont suivi leur exemple.

Nous avons la ferme conviction que grâce à ces subventions, grâce à d'autres aussi que nous espérons, mais dont il serait prématuré de parler aujourd'hui, le Laboratoire Central sera mis en état de rendre à l'Industrie électrique tous les services qu'elle est en droit d'en attendre : nos progrès sont fondés sur un terrain solide et le passé répond de l'avenir.

II. — Ecole supérieure d'électricité.

I. — INSTALLATION DE L'ÉCOLE DANS SES NOUVEAUX LOCAUX DE MALAKOFF.

L'Ecole a accompli en 1928, sa première année complète de fonctionnement dans ses nouveaux locaux, et l'expérience ainsi réalisée a pleinement vérifié la parfaite adaptation à leur but des bâtiments dont les plans avaient été longuement et mûrement étudiés.

Nous trouvons d'autre part une preuve de l'intérêt que notre nouvelle installation a suscité dans les milieux les plus divers dans le nombre élevé de visites que nous avons reçues et continuons de recevoir. Nous vous signalerons entre autres la visite de la commission sénatoriale de l'Enseignement et des Beaux Arts sous la conduite de son éminent président M. Victor BÉRARD le 28 juin 1928, celles des congressistes de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'énergie électrique le 10 juillet 1928, celle, dans le courant d'août, du distingué directeur de l'Ecole Polytechnique de Bucarest, notre ancien élève M. VASILESCO KARPEN, accompagné d'une délégation de cette Ecole; celle, dans le courant d'octobre, des membres de la Commission du Vocabulaire de la Commission électrotechnique internationale et du Comité consultatif international des Poids et Mesures etc... Tous nos visiteurs se sont déclarés enchantés de ce qu'ils avaient vu et en ont tiré d'utiles renseignements.

II. — MATÉRIEL.

Services d'enseignement. — Les achats de matériel correspondant au programme de première urgence que nous nous étions fixé, sont pratiquement terminés. Il nous reste maintenant à exécuter le programme de deuxième urgence pour lequel une somme de plusieurs millions doit être dès maintenant recherchée.

Services généraux. — Nous avons réalisé au cours de l'été 1928 le transfert à Malakoff de la bibliothèque qui était provisoirement restée rue de Staël. Notre commission administrative saisie de la question au commencement de l'année dernière, avait mis à notre disposition les crédits nécessaires à cette importante opération qui devait non seulement se traduire par un changement de local, mais encore être le point

de départ d'une nouvelle classification méthodique, des livres, périodiques, imprimés et documents de toute nature que l'exiguïté des anciennes installations, rendait difficilement accessibles.

Grâce à l'activité et à la persévérance de notre nouveau bibliothécaire M. le Commandant Doizan, ancien élève de l'Ecole Polytechnique et ingénieur E. S. E., tout a été mené à bonne fin dans des délais excessivement réduits, et dès la rentrée nos élèves ont commencé à fréquenter avec assiduité la magnifique salle de travail qui leur est ainsi ouverte.

Il n'est pas inutile de signaler ici que cette nouvelle bibliothèque reste, comme par le passé, la bibliothèque de la Société française des Electriciens, et que nos collègues sont assurés d'y trouver le meilleur accueil.

Nous avons convié à une cérémonie tout intime d'inauguration les principaux éditeurs de Paris qui, nous en avons l'assurance, nous continueront plus largement encore que par le passé un concours qui nous est précieux et qui, d'autre part, leur assure une publicité de premier ordre.

III. — PROMOTION XXXIV (1927-1928).

Il a été délivré à la fin de juillet 1928, 213 diplômes se répartissant comme suit :

Officiers et ingénieurs délégués par l'Etat.....	30
Ingénieurs des Arts et Métiers.....	37
Ingénieurs des Instituts électrotechniques (Grenoble, Nancy, Toulouse)	32
Licenciés ès sciences.....	21
Elèves étrangers diplômés d'écoles techniques supérieures.....	15
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique.....	3
Ingénieurs des Arts et Manufactures.....	3
Ingénieurs civils des mines (à titre étranger).....	2
Ingénieurs des constructions civiles (Ecole nationale des Ponts et Chaussées)	2
Ingénieurs civils de l'Institut Industriel du Nord de la France..	2
Ingénieur civil des constructions navales (Ecole d'application du Génie maritime)	1
Ingénieur de l'Ecole supérieure d'Aéronautique et de construction mécanique	1
Elèves reçus aux concours antérieurs et divers.....	10
Elèves reçus au concours de 1927.....	54
	213

IV. — PROMOTION XXXV (1928-1929).

Composition de la promotion. — La promotion en cours d'études comprend 200 élèves, en voici la composition :

Officiers et ingénieurs délégués par l'Etat.....	30
Ingénieurs des Arts et Métiers.....	27
Ingénieurs des Instituts Electrotechniques (Grenoble, Toulouse..)	26
Licenciés ès Sciences.....	12
Etrangers diplômés d'Ecoles techniques supérieures.....	12
Ingénieurs des Arts et Manufactures.....	8
Ingénieurs de l'Ecole Centrale Lyonnaise.....	5
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique.....	3
Ingénieurs civils de l'Institut Industriel du Nord de la France....	3
Ingénieur des constructions civiles (Ecole nationale des Ponts et Chaussées)	1
Ingénieur des industries métallurgiques et minières.....	1
Elèves reçus au concours de 1928 (146 candidats).....	56
Divers	16
	200

2 jeunes filles figurent parmi nos élèves réguliers.

A ces élèves, il convient d'ajouter 7 auditeurs libres qui suivent tout ou partie de notre enseignement.

V. — RELATIONS DE L'ÉCOLE AVEC L'UNIVERSITÉ.

Le nombre des étudiants de la Faculté des Sciences inscrits en 1927-1928, aux cours et travaux pratiques du certificat d'Electrotechnique Générale, a été de 78; 16 certificats ont été délivrés en juillet, et 6 en octobre. Depuis 1919, année de la création du cours, il a été délivré 164 certificats; le nombre total des inscriptions se montant à 575, on voit que nous tenons à maintenir à un niveau élevé ce certificat qui, on le sait, joint avec deux autres certificats d'études supérieures, confère le grade de licencié ès sciences.

La Faculté des Sciences a, cette année, réservé sur le produit de la taxe d'apprentissage, une somme de 10.000 francs pour la chaire d'Electrotechnique générale. Ce crédit nous a permis de procéder à quelques achats d'appareils et de machines.

VI. — PRÉPARATION MILITAIRE.

Les cours de préparation militaire supérieure (3^e groupe) ont été assurés en 1927-1928 par le Chef d'escadron Kolyszko, sous la haute direction du Général Jouvin et du Colonel Hauser.

Le brevet supérieur de préparation militaire qui est la sanction de cet enseignement, permet à nos anciens élèves d'accéder au grade d'officier de réserve au cours de leur service actif.

Pendant l'année scolaire 1927-1928, 69 élèves de l'Ecole ont été inscrits à ce cours, 22 ont passé le concours du brevet supérieur de préparation militaire, et 17 l'ont obtenu dans des armes diverses.

VII. — ANCIENS ÉLÈVES.

Le nombre total d'anciens élèves ayant passé par l'Ecole (non compris la promotion actuelle) est de 3 894, sur lesquels 3 422 ont obtenu le diplôme. Ces derniers se répartissent ainsi :

Officiers et ingénieurs de l'Etat.....	497
Ingénieurs des Arts et Métiers.....	508
Licenciés ès sciences.....	423
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique.....	210
Ingénieurs des Arts et Manufactures.....	206
Ingénieurs sortant d'écoles diverses (Centrale Lyonnaise, Physique et Chimie, Instituts Electrotechniques, Instituts industriels du Nord de la France, Aéronautique, etc...).....	219
Elèves étrangers diplômés d'écoles techniques supérieures.....	193
Ingénieurs civils des Mines, Ponts et Chaussées, Constructions navales, marine marchande.....	46
Elèves reçus aux concours et divers.....	1120
	3422

VIII. — SECTION DE RADIOTÉLÉGRAPHIE

Il a été décerné à la fin de juillet 1928, 62 diplômes d'ingénieurs radiotélégraphistes et 1 certificat d'études de radiotélégraphie.

XIV^e SESSION (1928-1929). — COMPOSITION DE LA PROMOTION.

La session en cours d'études comprend 53 élèves, en voici la composition :

Officiers désignés par le Ministère de la Guerre :

Génie	1
Artillerie coloniale	1
Infanterie coloniale	1
Aéronautique	1
Officiers et ingénieurs désignés par le Ministère de la Marine....	3
Ingénieur délégué par l'Ecole Supérieure des Postes et des Télégraphes	1
Officiers et ingénieurs délégués par les Gouvernements étrangers (1).....	18
Elèves civils (français et étrangers).....	27
	53

1 jeune fille figure parmi nos élèves réguliers.

A ces élèves il convient d'ajouter 1 auditeur libre qui suit une partie de notre enseignement.

Le nombre d'anciens élèves brevetés et diplômés de la section de radiotélégraphie est de 540.

IX. — SECTION D'ÉCLAIRAGE.

La cinquième session de notre section d'éclairage s'est ouverte le 20 février 1928 et a été suivie par 23 élèves; 18 élèves ont obtenu le certificat d'études éclairage.

X. — SOCIÉTÉ AMICALE DES INGÉNIEURS E. S. E.

Le nombre de nos anciens élèves inscrits à la Société Amicale, continue à progresser normalement et dépasse à l'heure actuelle 1900.

(1) Classement par nationalités des délégués étrangers à la section de radiotélégraphie :

Afghanistan.	— Ingénieurs	2
Angleterre.	— Officier de l'armée de terre	1
—	— Officier d'aviation	1
Belgique.	— Lieutenant du génie	1
Chili.	— Officiers de marine	2
Espagne.	— Ingénieur des télégraphes	1
Japon.	— Lieutenant d'artillerie	1
Lettonie.	— Officier de l'armée de terre	1
Pologne.	— Officier d'aviation	1
Roumanie.	— Officier de l'armée de terre	1
—	— Officier d'aviation	1
—	— Ingénieur des télégraphes	1
Tchécoslovaquie.	— Officier de l'armée de terre	1
Turquie.	— Officier de l'armée de terre	1
—	— Ingénieurs des télégraphes	2

18

XI. — BOURSES ET FONDATIONS.

Vous avez été tenus au courant, au fur et à mesure de leurs réalisations, des institutions de bourses ou fondations qui ont eu lieu au cours des années précédentes.

Leur ensemble, joint à la caisse des crédits d'études de la Société Amicale, forme à l'heure actuelle une œuvre disposant de moyens d'action importants, mais qui sont encore loin du revenu qui nous permettrait de venir en aide à toutes les situations dignes d'intérêt qui nous sont signalées; en voici le résumé :

Fondation Augustin Guyau. — 4.800 fr. à attribuer tous les deux ans.

Fondation Guinochet. — 1.943 fr. à attribuer chaque année.

Fondation Hueber Regnault. — 4.350 fr. à attribuer chaque année.

Bourse Paul Janet. — 1.775 fr. à attribuer chaque année.

Enfin, la caisse de crédits d'études de la Société Amicale attribue chaque année, un certain nombre de prêts d'honneur dont le total atteint en moyenne 12.000 fr.

Nous faisons ici un appel chaleureux à tous ceux qui s'intéressent à l'Ecole pour augmenter ses capitaux : toutes les confidences qui nous sont faites et tous les documents qui passent sous nos yeux nous montrent quels admirables efforts font les familles les plus modestes pour permettre à leurs enfants d'aborder les études de l'Ecole Supérieure d'Electricité. Il est de notre devoir de les aider.

Telles sont, mes Chers Collègues, les diverses phases de l'activité du Laboratoire et de l'Ecole pendant l'année 1928. L'extension même de nos services amène des besoins nouveaux et nos ressources ne peuvent croître dans la même proportion : du côté de l'Ecole, le désir unanimement exprimé de diminuer plutôt que d'augmenter l'effectif de nos promotions, la nécessité de ramener nos frais d'études à un taux acceptable pour tous, l'obligation morale où nous sommes d'aider les jeunes gens peu fortunés, nous obligent à avoir des appuis financiers extérieurs; pour le Laboratoire, qui n'a vécu si longtemps que grâce au dévouement d'un personnel d'élite insuffisant, il faut maintenant le doter d'un personnel supérieur stable et ayant l'espoir légitime d'y faire une carrière honorable; il faut surtout développer le service des recherches qui jusqu'ici n'a vécu que de hasards et est pourtant l'un des buts assignés dès l'origine à notre établissement. Pour tous ces besoins, d'importantes ressources sont indispensables; nous avons tout lieu d'espérer qu'elles ne nous feront pas défaut.

GROUPE DU SUD-OUEST DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Assemblée générale du 17 Décembre 1928

RAPPORT DE M. DELASALLE, *Président*.

Mes chers Collègues,

En application de l'article 14 des statuts, j'ai à vous rendre compte ce soir au nom du Comité, de la vie de notre Groupe, pendant le cours de l'année 1928.

Au 31 décembre 1927, le nombre des adhérents régulièrement inscrits au groupe était de : 121. Il est aujourd'hui, dans des conditions d'inscription identiques, de 159. Sur ce chiffre, nous comptons 81 membres sur les 100 faisant partie de la Société française des Électriciens, au lieu de 64 à fin 1927, alors qu'antérieurement à la création du Groupe, la S. F. E. ne comptait au total, d'après l'annuaire 1923, que 46 membres dans les départements sur lesquels s'étend notre activité. Nous avons ainsi, grâce à votre collaboration, pu atteindre un résultat appréciable vers le but que s'étaient donné ceux qui avaient pris l'initiative de la création du Groupe : réunir les techniciens s'intéressant au développement de l'industrie électrique, et augmenter l'influence dans notre région de notre Société Mère.

Mais nous ne devons pas nous déclarer entièrement satisfaits; si nous avons pu arriver à Bordeaux à grouper une forte proportion des électriciens, nous estimons qu'il y a encore beaucoup à faire dans le reste de notre région. Nous avons donc décidé, sans aller jusqu'à une décentralisation excessive qui pourrait nuire à la puissance de notre action, d'organiser dans la région pyrénéenne, à Tarbes, quelques réunions techniques au cours de l'année 1929. En procédant à cet essai, nous sommes toujours guidés par l'idée qui a présidé à la création de notre Association qui, je le répète est de grouper amicalement dans un but technique et en dehors de toute question d'Ecole ou d'intérêt corporatif ou social quelconque, tous ceux qui veulent s'attacher aux études

sur l'industrie qui nous préoccupe. Nous vous tiendrons au courant de tout ce que nous ferons à ce sujet.

Suivant l'exemple donné pour les trois années précédentes sous l'impulsion particulièrement active de notre Président M. CHEVALIER, la vitalité du Groupe du S. O. s'est, cette année, affirmée, par diverses conférences, dont je vous rappelle ci-après et les auteurs et les titres :

M. l'Inspecteur Général des Poudres PATART : « Les applications de l'Energie Electrique à la Fixation de l'Azote ».

M. S. LANGLOIS, Ingénieur à la Compagnie Thomson Houston : « les Sous-Stations et les équipements automatiques ».

M. E. LANGLOIS, Ingénieur aux Ateliers de Jeumont : « Les moteurs polyphasés à vitesse variable ».

M. BENEIX, Ingénieur à la Compagnie des Téléphones Th. : « La téléphonie protégée sur les lignes à haute tension ».

M. DOUCHET, Ingénieur à la Câblerie de Jeumont : « Les canalisations souterraines à très haute tension ».

M. HARDY, Ingénieur à la Compagnie des Téléphones Th. : « La téléphonie automatique ».

M. PREAUD, Inspecteur Général du Génie Rural : « L'Electrification des Campagnes ».

M. GASCHET, Ingénieur à la Société « Le Carbone » : « Les balais dans les machines électriques ».

M. LEDIEU, Directeur de l'Agence de Bordeaux de la Compagnie Générale de Travaux d'Eclairage et de Force : « L'Inauguration de la Maison d'Ampère à Poleymieux ».

M. DOURGNON, Ingénieur à la Société du Perfectionnement de l'Eclairage : « Les Procédés modernes d'Eclairage et leur influence sur l'Art décoratif ».

M. KLONINGER, Ingénieur à la Compagnie Brown-Boveri à Baden : « La Régulation de la Tension et la Marche en parallèle des Centrales ».

M. ABADIE, Ingénieur des Arts et Manufactures : « Les Tubes lumineux ».

soit douze communications sur des sujets particulièrement intéressants et qui ont toutes, à la grande satisfaction de votre Comité, retenu votre attention.

Nous vous avons en outre conviés à visiter le 23 juin, grâce à l'amabilité de notre Collègue, M. l'Ingénieur des Postes et Télégraphes Roller, les installations du central automatique de Bordeaux, et enfin,

car il faut joindre l'agréable à l'utile, nous avons pu profiter de l'amabilité de nos Collègues, MM. COULOUBIE et MARTIN, Administrateur et Ingénieur de la « Soprofor », et de notre Vice-Président, M. WAGNER, qui ont bien voulu organiser la promenade et le déjeuner du 24 juin à Prechac. Le succès de cette réunion tout à fait familiale a été pour ses organisateurs le plus beau des remerciements.

Je veux toutefois leur dire encore aujourd'hui combien nous leur sommes tous reconnaissants de la très agréable distraction qu'ils nous ont procurée. Je tiens en outre à exprimer encore à notre Collègue, M. PARODI, Vice-Président de la S. F. E. qui est venu présider nos réunions de juin, combien il nous'a été agréable de l'avoir avec nous pendant ces journées.

Pour l'année 1929, nous avons prévu un certain nombre de conférences, et nous comptons vous convoquer pour entendre traiter divers sujets, parmi lesquels :

« Les Lampes de T. S. F. » par M. J. BRUNON.

« La Mise à la terre du neutre des réseaux triphasés haute et basse tension » par M. KUPPER, Ingénieur en Chef de l'E. E. S. O.

« Les Transports en commun » par M. LAURU, Administrateur Directeur de la Compagnie des Tramways de Bordeaux.

« La Protection des Réseaux contre les Surtensions » par M. LEDOUX.

Une conférence sur la « L'Electrochimie » par M. BUNET, Président de la S. F. E.

Nous aurons en outre quelques visites d'ordre industriel dont celle des Chantiers de fabrications de Périgueux de la Société des Poteaux Electriques, et quelques installations du Port Autonome de Bordeaux, en particulier celle du dock flottant de Pauillac, qui n'a pu encore être effectuée. Afin de resserrer encore les liens entre nos membres, nous aurons le mois prochain un dîner amical et à ce sujet, permettez-moi d'insister pour que les adhésions de principe soient envoyées au plus tôt à notre Vice-Président, M. WAGNER qui a eu l'obligeance, malgré ses fonctions si absorbantes, d'en accepter, avec nos Collègues, MM. MARCHANDEAU et G. ROUSSEAU, toute l'organisation. Vous faciliterez ainsi leur travail.

Enfin, votre Comité n'oubliera certainement pas, j'en ai la conviction de renouveler, en juin, en dehors de tout souci technique, une excursion pour laquelle on a déjà parlé de Saint Emilion.

Dans un autre ordre d'idées, nous vous avons adressé une circulaire vous annonçant que le Comité avait décidé de publier pour 1929 un annuaire du Groupe. Notre Collègue, M. LEDIEU a assumé la tâche déli-

cate de diriger l'édition de ce document qui renfermera outre les noms, professions, adresses des membres du Groupe, les statuts, le règlement intérieur et la liste de toutes les Conférences faites à ce jour. Cet annuaire devant être gratuitement distribué, les frais de son impression seront couverts par des annonces. Au nom du Comité, je fais appel à tous ceux qui, parmi nos adhérents, peuvent nous aider à mener à bien le travail entrepris en souscrivant à notre publicité. Nous comptons pouvoir distribuer cet annuaire dans toute la région, non seulement bien entendu à nos membres, mais aussi dans les grandes administrations, les Sociétés industrielles, les associations diverses, les usines, etc... Les souscriptions à notre publicité constitueront donc un excellent moyen de propagande et ils nous faciliteront le moyen d'atteindre notre but : Faire se connaître davantage tous ceux qui sont nôtres, en atteindre de nouveaux, et montrer à la Société des Electriciens combien notre groupe amical est devenu grand par son activité technique qui ne le cède en rien, si même elle ne la dépasse pas, à celle des autres sections provinciales.

Mes chers Collègues, il me reste une tâche agréable à remplir, c'est de renouveler publiquement ici à ceux d'entre nous qui ont reçu cette année du Gouvernement, des marques de distinction, les félicitations que je leur ai adressées en temps voulu en votre nom :

M. Georges BARRÈS, Président de la Chambre de Commerce de Bordeaux, ancien Administrateur Délégué de la Régie Municipale du Gaz et de l'Electricité, Administrateur de la Compagnie des Chemins de Fer Paris-Orléans, a été promu au grade d'Officier dans la Légion d'Honneur.

La promotion dont a été l'objet M. BARRÈS, apporte à notre distingué collègue une juste récompense des services qu'il rend chaque jour au commerce et à l'industrie de Bordeaux et de la région.

M. RÉMAUGÉ, Directeur Général de la Compagnie Centrale d'Electricité à Limoges, Administrateur Délégué des Chemins de Fer départementaux de la Haute Vienne et de la Compagnie des Tramways de Limoges, Président de la Compagnie du Gaz et d'Electricité du Limousin;

M. DACHARY, Ingénieur principal de l'Electrification de la Compagnie du Midi;

ont été nommés Chevaliers dans la Légion d'Honneur.

Vous connaissez tous MM. RÉMAUGÉ et DACHARY qui bien qu'éloignés, viennent souvent à nos réunions, et qui tous les deux sont des Ingénieurs de haute distinction, des techniciens éprouvés qui, par les

travaux industriels qu'ils ont dirigés et leur activité dans les diverses branches de notre industrie et de nos affaires, honorent grandement notre Société et notre Groupe qui sont heureux de les compter parmi leurs membres.

Avant de clore cet exposé, je tiens à remercier notre Président d'honneur, M. le Professeur COUSIN, Doyen de la Faculté des Sciences, de l'obligeance constante avec laquelle il veut bien nous aider en nous autorisant à bénéficier de l'hospitalité des locaux de la Faculté, et en s'intéressant fréquemment à nos Conférences. Nous lui en sommes particulièrement reconnaissants, et nous nous efforçons de n'user de son amabilité qu'avec la plus grande discrétion.

Mes Chers Collègues, si nous avons pu atteindre les résultats que je vous ai résumés, c'est que nous avons suivi la voie que nous avait montrée notre ancien Président M. CHEVALLIER, que nous devons encore remercier d'avoir été l'un des artisans de la création du Groupe de Bordeaux. Votre Comité s'est efforcé au cours de l'année 1928, de justifier votre confiance et puisque j'ai eu le grand honneur d'être appelé pour cette année à présider vos réunions, permettez-moi d'exprimer en votre nom toute notre reconnaissance, à celui qui a bien voulu assurer avec un dévouement de tous les instants une activité remarquable et une abnégation charmante, le rôle ingrat de Secrétaire Général. Notre Collègue, M. Louis ROUSSEAU, a été pour votre Président, un collaborateur auquel il tient à rendre hommage et qui a la plus grande part dans les résultats acquis.

Je ne veux pas non plus oublier notre Trésorier, M. Georges ROUSSEAU, qui se montre un comptable très scrupuleux de nos derniers, et auquel je serais particulièrement heureux de voir faciliter par tous le travail parfois délicat de recouvrement des cotisations. Enfin, avant de clore la série des remerciements, il est bon d'adresser l'expression de notre gratitude à tous ceux qui nous ont aidés pour l'impression des conférences qui ont ainsi apporté à nos finances une aide très précieuse.

En terminant, permettez-moi de former le souhait que 1929 nous amène de nouveaux adhérents, afin que dans son rapport de fin d'année, le Président en exercice vous annonce que le deux centième membre a été inscrit.

**Composition du Bureau et du Comité
du groupe du Sud-Ouest de la Société française des électriciens**

Président d'Honneur :

M. le Professeur COUSIN, Doyen de la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Ancien Président :

M. H. CHEVALLIER, Sous-Directeur du Laboratoire d'Electricité de la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Président :

M. A. DELASALLE, Directeur de l'Agence de Bordeaux de la Société Générale de Constructions Electriques et Mécaniques « Alsthom ».

Vice-Présidents :

M. P. THIERRY, Administrateur-Directeur Général de l'Energie Electrique du Sud-Ouest.

M. G. WAGNER, Directeur Général de la Régie Municipale du Gaz et de l'Electricité de Bordeaux.

Secrétaire Général :

M. L. ROUSSEAU, Directeur de l'Agence du S. O. de la Compagnie Electro-Mécanique.

Secrétaire Général Adjoint :

M. le Professeur FOCH, de la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Trésorier :

M. G. ROUSSEAU, Ingénieur E. S. E.

Membres du Comité

(1929-1930-1931)

- M. A. RÉMAUGÉ, Directeur Général de la Compagnie Centrale d'Electricité à Limoges.
M. LACHARME, Directeur de l'Agence du S. O. des Ateliers de Lyon et Dauphiné.
M. COURANT, Ingénieur-Conseil.
M. COURPRON, Directeur de la Compagnie Nouvelle d'Eclairage et de Chauffage par le Gaz.
M. BRETON, Directeur de l'Agence du S. O. des Forges et Ateliers de Jeumont.

(1929-1930)

- M. ARMENGAUD, Directeur Général technique de la Compagnie Bordelaise de Produits Chimiques.
M. LECOQ, Directeur du Service d'Electrification du Département de la Gironde.

(1929)

- M. BERTHET, Ingénieur Principal de l'Agence de Bordeaux de la Société Générale de Constructions Electriques et Mécaniques « Alsthom ».
M. DESCHAMPS, Agent de la Société Gardy.
M. LEDIEU, Directeur de la Succursale de la Compagnie Générale de Travaux d'Eclairage et de la Force.
M. MARCHANDEAU, Agent Général pour le S. O. de la Société Rateau.
M. RAYNAUD, Ingénieur.
-

GROUPE DU SUD-EST DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Composition du Comité et du Bureau

Présidents d'Honneur :

MM. RIGOLLOT, Directeur de l'Ecole Centrale Lyonnaise.
BOUTAN, Administrateur Délégué des Forces Motrices d'Arrens.

Anciens Présidents :

MM. RIGOLLOT, Directeur de l'Ecole Centrale Lyonnaise.
BARBILLION, Directeur de l'Institut Electrotechnique de Grenoble
BOUTAN, Administrateur Délégué des Forces Motrices d'Arrens.
BERNE, Administrateur Délégué de la Société Lyonnaise des Forces
Motrices du Rhône.

Présidents :

pour 1929 : M. VIEL, Directeur de la Compagnie Electrique de la Loire
et du Centre et de la Société de Transport Electrique du
Centre.
pour 1930 : M. DELON, Directeur général aux Câbles de Lyon de la
Compagnie générale d'Electricité.

Vice-Présidents :

MM. THOVERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
PIATON, Administrateur Délégué de la Société de gaz et d'électri-
cité du Sud-Est.

Secrétaire Général :

M. DUMONT, Directeur général aux Câbles de Lyon de la Compagnie
générale d'Electricité.

Trésorier :

M. D'AUBENTON-GARAFI.

Membres du Comité :

MM. BERGEON, CHIPART, DUSAUGEY, GAILLARD, GILLO, LEFÈVRE, LOC-
QUIN, MARÉCHAL, MEUFREDI du PARC, PISON, REYNAUD, de SPARRE,
THALLER, VAUTIER.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

SUR LES ONDES DE 10 A 20 CENTIMÈTRES ⁽¹⁾

Par M. G. A. BEAUVAIS,

Ancien Elève de l'Ecole Normale Supérieure, Agrégé de l'Université.

Production des ondes très courtes en radiotélégraphie ; difficultés rencontrées. — Dispositif de Barkhausen. — Dispositif de M. Pierret ; une théorie de son fonctionnement ; émetteur, récepteur. — Expériences vérifiant les lois de l'optique par l'utilisation des ondes très courtes. — Application des ondes très courtes à la radiotélégraphie et à la radiotéléphonie. — Conclusions ; aperçu sur les applications possibles des ondes très courtes.

Production des ondes très courtes. — Lorsqu'on veut produire des ondes très courtes en radiotélégraphie, on peut simplement essayer d'opérer comme on fait pour obtenir les ondes longues. Le circuit oscillant, dont les éléments définissent la période, est relié dans ce cas, à la manière habituelle, aux électrodes d'une triode, et les variations de courant plaque, provoquées par des variations de tension grille, entretiennent dans le circuit oscillant des oscillations, à la manière dont l'échappement d'une horloge entretient le mouvement du balancier.

Si l'on veut augmenter la fréquence des oscillations électriques, on est amené à diminuer de plus en plus les dimensions des éléments du circuit oscillant, mais l'on est bientôt arrêté dans cette voie.

Difficultés rencontrées. — En effet, à des ondes de 1 m 50, correspond un circuit oscillant dont la self inductance est réduite à une boucle de fil de quelques centimètres de diamètre, tandis que la capacité est constituée par un condensateur formé de deux lames en regard, ayant chacune quelques centimètres carrés de surface et

(1) Résumé de la communication faite par M. Beauvais à la séance mensuelle de la Société Française des Electriciens, tenue en commun avec le Comité Central des Sociétés de T. S. F. le 2 février 1929.

séparées l'une de l'autre par une lame d'air de plusieurs millimètres. De plus, à ce moment, la longueur des connexions allant du circuit oscillant aux électrodes devient du même ordre de grandeur que la longueur du fil entrant dans le circuit oscillant lui-même et dans la self inductance grille qui lui est couplée. On conçoit aisément que, dès lors, les conditions de couplage des circuits grille et plaque ne soient plus réalisées.

Enfin, si avec des oscillations de fréquence correspondant à des ondes plus longues que quelques mètres, on peut considérer que les électrons qui vont du filament à la grille, ont parcouru ce chemin en un temps pratiquement nul devant la durée de la période des oscillations, il n'en est plus de même avec des ondes très courtes, et cette durée du parcours vient encore limiter la fréquence des oscillations qu'on peut obtenir par le procédé habituel d'entretien des oscillations au moyen d'une triode.

Pour obtenir des oscillations de fréquence extrêmement grande, on est donc amené à utiliser des montages entièrement différents du montage habituel de la triode employée en générateur.

Dispositif de Barkhausen. -- Barkhausen, pour produire des ondes très courtes, a relié la grille de la lampe au pôle positif d'une source de plusieurs centaines de volts, tandis que la plaque est reliée au filament ou même chargée négativement par rapport à celui-ci. Dans ces conditions, les électrons allant du filament à la grille, peuvent parcourir des chemins compliqués entre les électrodes et être animés de mouvements oscillatoires, qui peuvent réagir sur les circuits extérieurs à la lampe pour y entretenir des courants oscillants. Barkhausen, par ce procédé, est arrivé à produire des ondes descendant jusqu'à 30 cm.

Dispositif de M. Pierret. — M. Pierret, de la Faculté des Sciences de Nancy, en étudiant les oscillations de Barkhausen, a imaginé un montage nouveau qui permet d'obtenir des ondes encore plus courtes (10 à 20 cm). Ce montage est le suivant (fig. 1). Une lampe de réception à cornes a son filament chauffé à la manière habituelle. A la corne grille, est fixée une tige sur laquelle coulisse un disque D; à la corne plaque est fixée une tige analogue sur laquelle glisse un autre disque. La grille est portée au potentiel de 250 V, tandis que la plaque est polarisée négativement à 40 V. Dans ces conditions, ce système émet

des ondes d'une quinzaine de centimètres, ce qui correspond à des oscillations d'une fréquence de 2 milliards de cycles par seconde.

Une des hypothèses du fonctionnement du système est la suivante. Les électrons émis par le filament sont violemment attirés par la grille et se précipitent vers elle, la plus grande partie y arrive directement et ne participe pas à la création des ondes, mais quelques-uns,

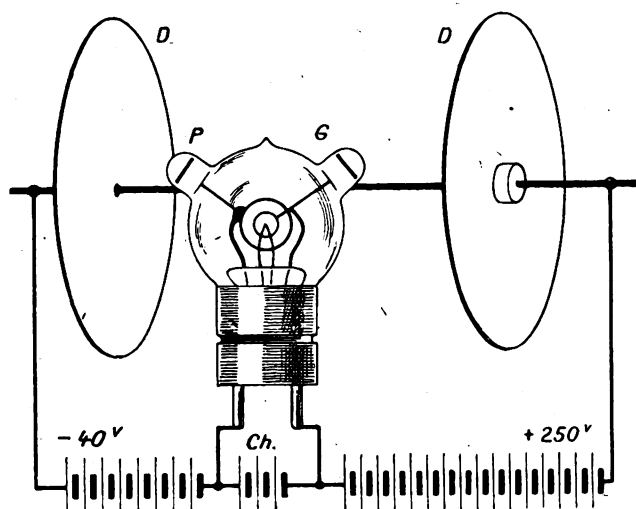


Fig. 1. — Émetteur Pierret d'ondes très courtes.

emportés par leur vitesse, passent entre les barreaux de la grille : ce sont les électrons actifs. Se trouvant dans le champ retardateur qui existe entre la grille et la plaque, leur mouvement est bientôt arrêté et ils vont revenir en arrière en se précipitant sur la grille ; s'ils repassent encore entre les barreaux, leur mouvement sera bientôt de nouveau arrêté et changera de sens, et l'on peut concevoir que certains électrons exécuteront ainsi des oscillations pendulaires de part et d'autre des barreaux de la grille.

Ces électrons, en oscillant, attireront par influence des charges positives dans les fils de grille, au voisinage desquels ils se trouvent et la cadence de ces attractions sera liée à la fréquence de leur mouvement. En regardant les choses de près, on voit aisément que la fréquence de ces attractions est double de celle du mouvement des électrons. Ces charges positives attirées par les électrons, ont comme contrepartie des charges négatives repoussées dans le fil réuni à tous les barreaux de la grille, et c'est pour éviter que les oscillations

électriques correspondantes aillent jusqu'aux sources de courant, que l'on place un disque sur lequel les oscillations viennent se réfléchir ; la position de ce disque doit être tel que les oscillations réfléchies se trouvent en phase avec les oscillations qui arrivent de la grille. Naturellement, par capacité de plaque et de grille, des oscillations prennent naissance dans le circuit de plaque où un disque doit également être placé.

C'est grâce au phénomène du dédoublement de la fréquence que M. Pierret a pu obtenir des oscillations à l'octave de celles de Barkhausen, mais la nécessité d'avoir des oscillations de part et d'autre des barreaux de la grille a comme conséquence la nécessité d'avoir des tensions données pour la grille et la plaque, sinon les oscillations

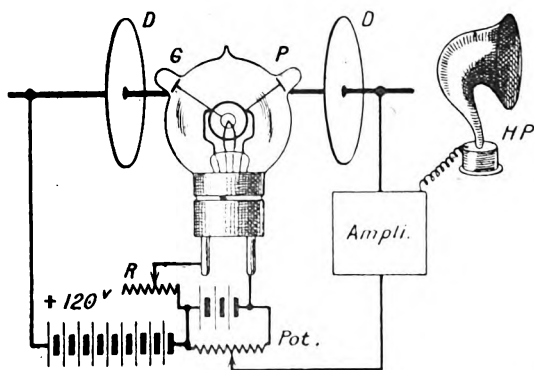


Fig. 2. — Récepteur Pierret pour ondes très courtes.

ne s'amorcent plus. De plus, tandis que la fréquence des oscillations de Barkhausen dépend largement de la tension de la grille (étant proportionnelle à la racine carrée de cette tension), les oscillations de Pierret ont une fréquence déterminée par les éléments géométriques de la lampe et les tensions qu'on peut appliquer aux électrodes pour produire ces oscillations ne peuvent varier que dans des limites assez étroites, sinon les oscillations s'arrêtent. Il en résulte que les longueurs d'ondes ainsi obtenues sont pratiquement fixes et ne dépendent que de la lampe.

Pour mettre ces ondes en évidence, le moyen utilisé est l'emploi bien connu de fils de Lécher, comprenant deux fils parallèles sur lesquels court un pont, et dont les extrémités sont réunies à un bout par l'intermédiaire d'un couple thermoélectrique relié de son côté à un galvanomètre. On peut ainsi non seulement déceler aisément des

oscillations électriques aussi courtes que l'ont veut, mais aussi mesurer aisément leur longueur d'onde.

On peut aussi, et c'est la méthode qui a été employée à la conférence, recevoir ces ondes dans un récepteur radiotélégraphique approprié. Dans ce cas, il faut évidemment alimenter l'émetteur en courant alternatif, pour qu'à la réception on entende un son de hauteur égale à la période du courant alternatif d'alimentation.

Le récepteur se compose (fig. 2) d'une lampe à corne équipée exactement comme la lampe d'émission, à cela près que la grille est portée seulement au potentiel de 110 volts, et que la plaque est polarisée seulement par quelques volts et fractions de volts pris sur un potentiomètre alimenté par la tension de chauffage de la lampe. Un amplificateur basse fréquence, actionnant un casque ou un haut parleur est placé dans le circuit plaque (1).

Expériences. — On peut ainsi montrer, comme il a été fait dans la conférence; que les ondes émises par l'émetteur sont reçues par le récepteur et qu'une plaque métallique interposée entre l'émetteur et le récepteur arrête ces ondes, tandis qu'une plaque d'ébonite, même très épaisse, les laisse passer. Pour mesurer la longueur des ondes expérimentées, un écran métallique formant miroir est déplacé lentement derrière le récepteur et l'on met ainsi en évidence des ondes stationnaires. Pour des positions de l'écran distantes d'une demi-longueur d'onde, on entend des renforcements de la réception, tandis que, pour des positions intermédiaires, on entend des minimums de réception. Dans l'expérience réalisée, cette demi-onde était de 8 cm.

Les ondes lumineuses étant des ondes électromagnétiques, on doit pouvoir refaire avec les ondes ultra courtes, les principales expériences de l'optique, c'est ainsi que si on arrête la réception en plaçant un écran entre l'émetteur et le récepteur, on peut la faire réapparaître en plaçant, sur le côté, un miroir métallique plan, sur lequel les ondes vont se réfléchir suivant les lois de l'optique, pour venir de nouveau actionner le récepteur.

Il est facile de faire, d'une façon analogue, des franges d'interférences. D'ailleurs, pour réaliser toutes les expériences dans une salle, il faut prendre des précautions pour ne pas être gêné par les réflexions dues aux murs de la salle. Une solution excellente, due à

(1) Le haut parleur utilisé pour la conférence, avait été très aimablement prêté par le Matériel Téléphonique.

Pierret, consiste à employer des ondes planes formant un faisceau de « rayons » parallèles, obtenus en mettant un émetteur spécial, analogue à celui décrit plus haut, au foyer d'un miroir cylindro-parabolique. Une autre méthode, moins parfaite, consiste à placer l'émetteur et le récepteur dans des cages de Faraday percées chacune d'un trou, dans lequel s'emboîte un tube de laiton de 20 cm de diamètre et d'une trentaine de centimètres de long. Ces deux systèmes forment une sorte de lunette et de collimateur (sans lentilles), et permettent de limiter le faisceau des ondes émises par le poste d'émission, à celles qui sortent par le tube et à ne recueillir sur le récepteur que celles rentrant par le tube de la cage qui l'entoure.

En mettant les deux tubes dans le prolongement l'un de l'autre et à quelque distance l'un de l'autre, la réception est très forte et l'on peut constater la transparence ou l'opacité de divers corps que l'on place entre les extrémités des deux tubes.

En déplaçant une des cages par rapport à l'autre, de telle sorte que les deux tubes fassent entre eux un angle de 120° , par exemple, la réception disparaît ; il faut alors placer, dans l'espace compris entre les deux tubes, un prisme de paraffine pour faire réapparaître la réception ; on réalise ainsi une des expériences fondamentales de la réfraction.

En mettant les deux cages l'une en face de l'autre, de façon que les deux tubes soient dans le prolongement l'un de l'autre et soient séparés par un intervalle de 40 cm par exemple, on peut reproduire l'expérience de polarisation dite des nicols-croisés : pour cela, on coiffe l'extrémité de chacun des tubes avec un cadre de bois de 20 cm de côté, sur lequel sont tendus à 1 cm l'un de l'autre et parallèlement, une vingtaine de fils métalliques de 20 cm de longueur. Ces fils arrêtent la composante électrique du champ électromagnétique qui leur est parallèle.

Si les fils des deux cadres sont parallèles, la réception est forte, tandis que si les fils des deux cadres sont perpendiculaires les uns aux autres, elle est nulle,

Application à la radiotélégraphie. — Au point de vue radiotélégraphique, il faut, si l'on veut avoir de la portée, employer un système de réception plus sensible que celui qui est décrit dans la figure 2 ; pour cela, nous avons combiné un récepteur à superréaction (fig. 3). La lampe de réception y est chauffée au moyen d'un rhéostat très pro-

gressif. La grille est alimentée sous une tension de 250 V continus à laquelle on ajoute une tension alternative produite par une lampe d'émission fonctionnant, par exemple, à la fréquence de 1.10^6 p : s. La tension négative de plaque est bien déterminée au moyen d'une batterie et d'un potentiomètre.

Les résultats obtenus au cours d'expériences encore peu nombreuses sont les suivants : au ras du sol, en terrain plat, la portée

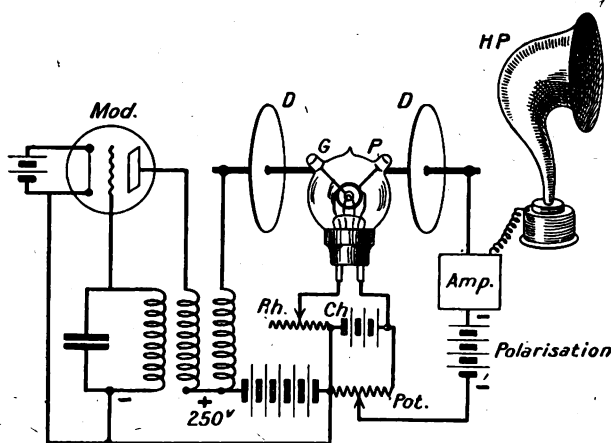


Fig. 3. — Récepteur à superréaction pour ondes très courtes.

atteinte a été de 500 m en n'employant aucun miroir, ni à l'émission, ni à la réception.

En plaçant le système émetteur au foyer d'un miroir parabolique de 20 cm de distance focale et de 120 cm d'ouverture et en plaçant la lampe de réception au foyer d'un miroir semblable, il a été possible d'obtenir, du premier coup, une excellente communication télégraphique entre les terrasses, du Mont Valérien et de Saint Germain, distantes d'une dizaine de kilomètres. Il est à noter que, le jour où cette expérience a été faite, le brouillard était opaque, et qu'il a fallu braquer les miroirs l'un en face de l'autre au moyen de la boussole. D'ailleurs le faisceau obtenu était assez aigu, puisqu'il avait environ 8 à 10 degrés d'ouverture.

Application à la radiotéléphonie. — Enfin, il est possible de faire de la radiotéléphonie sur ces ondes ultra courtes ; le montage du poste

émetteur est le suivant (fig. 4). La grille de la lampe d'émission est alimentée sous une tension de 250 V, à travers une bobine de

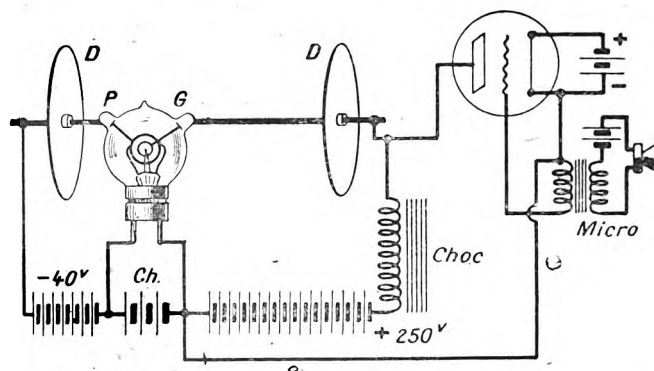


Fig. 4. — Emetteur d'ondes très courtes pour radiotéléphonie.

self inductance de plusieurs henrys. Une lampe de modulation a sa plaque reliée à la grille de la lampe d'émission, les batteries de chauffage étant communes. La réception se fait sur le récepteur habituel.

Applications possibles des ondes très courtes. — Comme conclusion, nous signalerons que l'étude de ces ondes très courtes, permettant de refaire les expériences de l'optique avec des longueurs d'onde cent mille fois plus grandes, permettra de vérifier certains points de la théorie électromagnétique de la lumière, en permettant l'expérimentation à grande échelle. Citons des expériences sur les ondes évanescentes, sur les changements de phase des ondes par réflexion sur des surfaces ou des fils accordés, etc.

Au point de vue radiotélégraphie et radiotéléphonie, on peut espérer avoir, au moyen de ces ondes, un nouveau genre de moyen de communication dirigée, analogue à l'optique, pouvant traverser le brouillard, ce qui permet de faire songer à des phares hertziens, dont l'invisibilité des faisceaux contribuerait à la discrétion des communications.

LA PHOTOTÉLÉGRAPHIE D'AMATEUR

par M. R. MESNY

Directeur des Etablissements E. Belin (1).

Si l'on se place, sans connaissances techniques préalables, devant le problème de la transmission des images, on pense naturellement à leur transmission telle quelle, c'est-à-dire à la reproduction simultanée à distance d'un ensemble continu de points qui devront se retrouver dans le même ordre et avec les mêmes teintes qu'ils ont naturellement. En examinant tous les procédés de reproduction des images, la photographie y compris, on reconnaît sans peine qu'il est possible de remplacer cet ensemble continu, par un ensemble limité de points susceptibles de fournir à l'œil l'impression désirée.

A tous ceux qui connaissent les procédés actuellement en usage, la reproduction simultanée paraît une utopie et cependant, si l'on réfléchit un instant à la transmission de la musique, on reconnaît que celle-ci résout un problème de même espèce. Un orchestre de 100 musiciens représente un ensemble de plusieurs centaines d'éléments sonores et la transmission simultanée de ces éléments est réalisée par la radio-phonie ; l'onde porteuse arrive au récepteur, modulée simultanément à toutes les fréquences qui correspondent aux notes fondamentales des instruments de l'orchestre et de leurs harmoniques. Un nombre considérable de paramètres, sont donc reproduits à distance simultanément.

Il ne serait pas très difficile de transmettre de la même façon sur une même onde porteuse une série de modulations distinctes correspondant à quelques milliers de points choisis pour définir une image ; mais des difficultés actuellement insurmontables se présenteraient à la réception quand il s'agirait de trier toutes ces modulations et de faire correspondre à chacune d'elles, ou à chaque groupe d'un certain nombre d'entre elles, les points lumineux qui reproduiraient ceux de l'image originale. L'œil est un organe infiniment plus subtil que l'oreille, mais il a des exigences qui le rendent plus difficile à servir.

(1) Communication présentée à la séance mensuelle de la Société Française des Electriciens, tenue en commun avec le Comité central des Sociétés de T. S. F. le 2 février 1929.

En présence de cette impossibilité, on choisit alors un paramètre supplémentaire qui arrange tout, la phototélégraphie comme le reste des affaires humaines : le temps. Grâce à son concours, le nombre considérable de variables dont nous parlions peut se réduire à deux : le temps et l'amplitude des oscillations transmises sur une fréquence unique. L'image à transmettre est encore décomposée en un grand nombre de points et ceux-ci sont transmis successivement, l'intensité de la teinte de chaque point donnant naissance à une amplitude plus ou moins grande des oscillations transmises.

L'image est donc découpée en une série de petite tranches dont la largeur est une fraction de millimètre et toutes ces tranches, elles-mêmes décomposées en une série de petits traits très courts, sont passées les unes à la suite des autres.

Transmission d'un point.

Pour pénétrer plus avant dans les procédés mis en œuvre, nous examinerons d'abord le mécanisme de la transmission d'un seul point; il s'agit, en somme, de traduire un phénomène lumineux en phénomène électrique; on utilise pour cela les cellules photoélectriques.

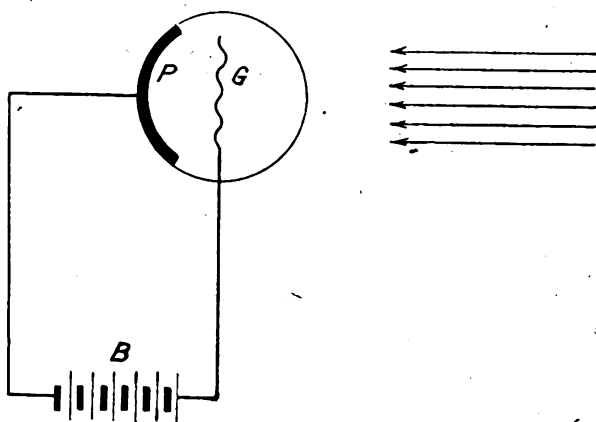


Fig. 1. — L'éclairement du potassium P provoque une émission d'électrons qui vont à la grille G sous l'influence de la batterie B, donnant lieu à un courant dans le circuit PBG.

On sait que certains corps, exposés à l'action de la lumière, émettent des électrons, le potassium par exemple. Or on a constitué, grâce à eux, un petit appareil très simple dont les applications prennent chaque jour une importance croissante.

Dans une ampoule de verre (fig. 1) où l'on a fait un vide presque

absolu, une couche de potassium est déposée sur une partie P de la paroi ; en face de cette partie, on a conservé la transparence du verre pour pouvoir produire l'éclairement du potassium ; au milieu de l'ampoule se trouve un fil ou une grille métallique et deux connexions extérieures établissent un contact d'une part avec cette grille, d'autre part avec la couche de potassium. Si entre ces connexions on place une pile de tension convenable (150 à 200 V dans notre cas), dont le pôle négatif soit réuni au potassium, on voit qu'un courant circulera dans les fils extérieurs chaque fois que la cellule sera éclairée. Ce courant sera fonction de l'éclairement et, en choisissant convenablement les conditions de fonctionnement, les valeurs de ces deux éléments seront proportionnelles. Si donc on place en face de la cellule, un seul point éclairé de l'image à transmettre, on recueillera un courant d'autant plus fort que la teinte de ce point sera plus claire, maximum pour un point blanc, nul pour un noir absolu.

Dans la disposition employée (fig. 2) l'image est enroulée sur un

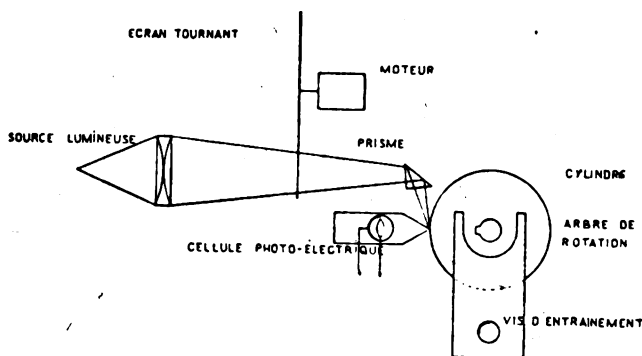


Fig. 2. — Le faisceau lumineux produit par la source est concentré par un condensateur puis renvoyé par un prisme sur le cylindre portant l'image à reproduire. Un point de la partie éclairée agit sur la cellule. Le faisceau lumineux est coupé par un écran tournant pour donner lieu, dans la cellule, à un courant alternatif dont l'amplification est plus facile à réaliser.

cylindre ; une source lumineuse constituée par une lampe à filament très ramassé, éclaire fortement une petite région de ce cylindre ; un système optique convenable y produit l'image du filament.

En face de cette région et tout près d'elle, on place un micro-objectif qui envoie sur la cellule placée dans une boîte close un faisceau lumineux. Ce faisceau est limité avant son entrée dans la cellule par un diaphragme dont les dimensions sont déterminées de façon que la lumière ne provienne que d'une portion bien définie de la région éclairée. Dans le cas des appareils que nous décrivons, cette portion

est un petit cercle d'un diamètre de 0,25 mm ; c'est ce petit cercle qui constitue par conséquent l'élément de décomposition du document à transmettre.

Le courant qui circule dans la cellule et ses connexions est extrêmement faible, de l'ordre du centième ou du dixième de micro-ampère et, pour l'utiliser, il est nécessaire de l'amplifier jusqu'à obtenir quelques milliampères. Or, il est très difficile de réaliser de grosses amplifications des courants continus ou lentement variables tels que ceux auxquels donneraient lieu les dispositions précédentes ; on emploie alors un artifice ; on interrompt périodiquement la lumière qui éclaire le point de l'image et on transforme le courant continu en courant alternatif. C'est le rôle du disque perforé représenté séparément sur la fig. 3 et indiqué comme « écran tournant » sur la fig. 2.

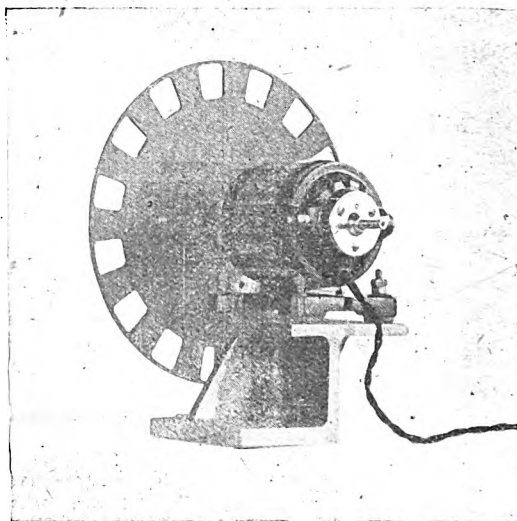


Fig. 3. — Disque perforé produisant les ruptures de l'éclairage du document.

Exploration du document.

Nous possédons maintenant le moyen d'émettre un courant électrique qui traduira rigoureusement les variations d'éclairement des divers éléments du document à transmettre. On voit que pour « passer » tous les points de l'image, il suffira d'animer le cylindre de la fig. 2 d'un mouvement hélicoïdal ; plus le pas sera fin, plus la trame sera serrée. Les appareils Belin du type professionnel emploient un pas de 0,17 mm, ceux du type amateur un pas de 0,25 mm, le pas des ap-

pareils type Fulton est de 0,4 mm. Nous reviendrons plus loin sur le mécanisme produisant le mouvement hélicoïdal.

Vitesse de transmission.

Il y a lieu de remarquer en passant que, comme nous l'avons dit plus haut, l'hélice tracée sur le cylindre n'est pas constituée par une ligne lumineuse continue; elle est décomposée en une série de petits traits par le mécanisme de la lumière interrompue. Il en résulte que le courant qui doit alimenter la ligne de transmission ou le poste de T.S.F. est un courant modulé deux fois, d'abord à la fréquence de rupture de la lumière, ensuite à la cadence, beaucoup plus lente, du passage des blancs et des noirs du dessin. La fréquence de rupture est généralement de l'ordre de 1 000 à 1 500 p : s; on conçoit que cette fréquence, étant donnée la durée de l'exploration totale, en résulte; la finesse de la trame dépend, en effet, du rapport de cette fréquence à la vitesse de rotation du cylindre. Or, quand on fait des transmissions sur lignes, cette fréquence est limitée; on sait, en effet, qu'une ligne donnée n'est susceptible de transmettre convenablement que des fréquences comprises entre des valeurs déterminées, la limite supérieure, dite fréquence de coupure, étant le plus souvent voisine de 2 000 p : s.

Il existe donc une limite inférieure pour la durée de la transmission sur lignes d'une image de surface donnée, et cela, quel que soit le système employé (1).

Dans les radiotransmissions, aucune considération de ce genre n'intervient et la durée de passage d'une épreuve pourrait être réduite à une fraction de minute. Cependant pour atteindre de telles valeurs, il faudrait avoir recours à une mécanique de haute précision incompatible avec du matériel d'amateur et la durée à laquelle on s'est arrêté dans les appareils BELIN pour la transmission d'une image de 14×10 cm, est de 5 minutes environ.

Liaison à l'émetteur de haute fréquence.

Quand on fait une transmission d'image sur ligne, on envoie tout simplement le courant alternatif amplifié sur la ligne au moyen d'un

(1) La fréquence de rupture de la lumière n'est pas le seul élément qui intervienne dans cette limitation. Les passages brusques des noirs aux blancs, donnent naissance dans les lignes à des phénomènes transitoires qui se traduisent par l'existence momentanée d'oscillations à fréquences élevées dont il faut assurer la bonne transmission.

transformateur approprié ; pour une radiotransmission, on utilise ce courant pour moduler l'onde porteuse. Il suffit de remplacer le microphone d'une installation radiotéléphonique ordinaire par un transformateur convenable.

Principe de la réception.

Au poste récepteur, on reçoit le courant de fréquence musicale modulé par l'image ; dans le cas des radiotransmissions, ce courant est reçu exactement comme la musique ou la parole, avec les mêmes appareils. Il s'agit alors de faire la transformation inverse de celle que l'on a réalisée à l'émission et d'enregistrer les variations de ce courant en les traduisant en variations de teintes.

Plusieurs dispositifs sont utilisés pour obtenir ce résultat dans les appareils de professionnels, ils sont basés sur l'emploi du phénomène de Kerr dans certains liquides, d'oscillographes (1) ou de lampes à gaz dont l'éclairement peut suivre instantanément les variations de leur tension d'alimentation. Dans les appareils d'amateurs, on a recours à un effet électrochimique. Le courant à traduire est amené par un fin stylet sur le papier préalablement trempé dans une dissolution convenable, susceptible d'être décomposée avec coloration. Les variations d'intensité de cette coloration suivent naturellement celles du courant. En enroulant le papier sur un cylindre identique à celui de l'émission auquel on donne le même mouvement hélicoïdal, on reproduit naturellement l'image transmise.

Dans les belinographes, on fait généralement usage de la solution suivante :

Eau	100 gr
Nitrate d'ammonium	125 »
Ferrocyanure de potassium	5 »
Glycérine	30 »

qui donne des images bleues comme le papier photographique au prussiate.

Il y a lieu de remarquer que l'effet d'électrolyse ne peut être obtenu que si le courant qui traverse le papier conserve toujours le même sens ; il est donc nécessaire de redresser le courant alternatif qui sort normalement du récepteur radiotéléphonique. L'intensité du courant

(1) Voir *Onde Electrique*, octobre 1928.

redressé dépend de la solution et du papier employés; comme elle peut atteindre une valeur assez élevée (10 à 15 milliampères), le redresseur comporte une lampe amplificatrice basse fréquence, suivie de deux redresseuses montées symétriquement (fig. 4).

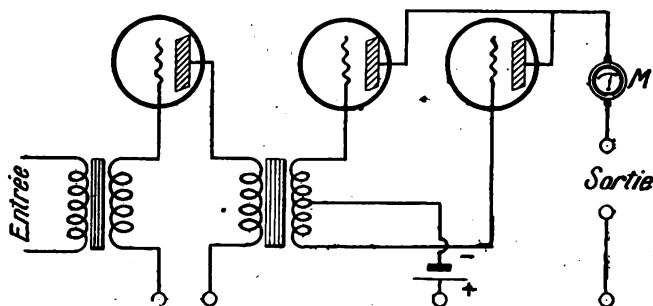


Fig. 4. — Redresseur à placer à la suite d'un amplificateur de radiophonie.

Synchronisme.

Il est évidemment indispensable que les deux cylindres d'émission et de réception tournent en synchronisme parfait. Cette condition très importante est peut-être la plus difficile à réaliser.

La première idée qui vient à l'esprit pour atteindre ce but est d'entraîner le cylindre de réception par un mouvement d'horlogerie ou un moteur électrique dont on réglerait la vitesse à la valeur voulue; il est facile de voir qu'un tel procédé serait beaucoup trop grossier. Supposons, en effet, que l'on ait tracé sur l'image à transmettre une

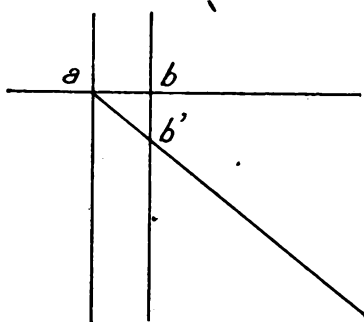


Fig 5.

droite qui soit parallèle à l'axe du cylindre lorsque cette image est enroulée. Un point A de cette ligne sera reproduit en *a* à la réception (fig. 5), le point suivant B de la même ligne ne sera reproduit à sa

place normale b que si les deux cylindres font *exactement* un tour dans le même temps. Nous avons dit que le pas d'avancement des cylindres est de 0,25 mm dans les helinographes; si le point b est décalé de 0,25 mm et vient en b' , on voit que la ligne AB parallèle à l'axe dans l'image à transmettre deviendra, dans l'image transmise, une ligne inclinée de 45°. Or, la circonférence des cylindres a une longueur de 157 mm; une différence de vitesse de $\frac{0,25}{157} = \frac{1}{628}$ remplacera donc une ligne horizontale de l'original par une ligne inclinée de 45°. Sur la largeur totale du document, qui est de 100 mm, la déviation de la ligne sera de 100 mm. Comme on ne peut admettre plus de 1 ou 2 mm de déviation, il faudrait réaliser l'égalité des vitesses de rotation avec une approximation de l'ordre de $\frac{1}{50000}$.

Synchronisme direct.

Dans le cas général, un tel résultat ne peut s'obtenir qu'avec des dispositions mécaniques de très haute précision; cependant, la difficulté a été tournée très simplement pour le cas où l'émetteur et le

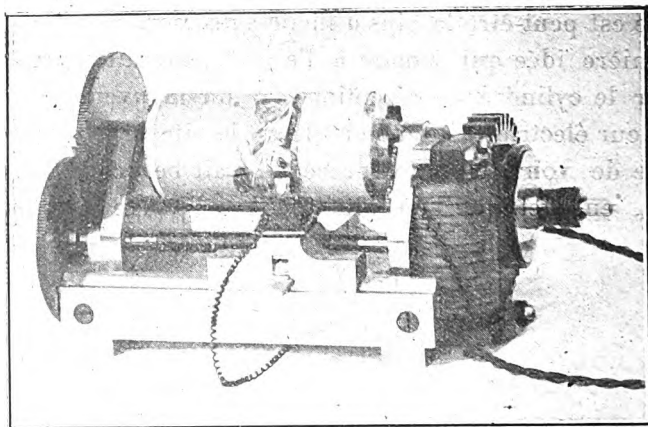


Fig. 6. — Récepteur à synchronisme direct par roue phonique. A droite, la roue phonique et son inducteur. A gauche, les engrenages d'entraînement de la vis inférieure produisant le mouvement longitudinal du stylet.

récepteur se trouvent placés dans une région où les secteurs de distribution électrique sont interconnectés. On entraîne le cylindre de l'émetteur et celui du récepteur par des roues phoniques, petits alternateurs synchrones recevant leur énergie directement du secteur; la synchronisation est alors automatique. De telles régions ne sont pas

exceptionnelles et elles s'étendent en France de plus en plus; la plus grande partie du sud-ouest en particulier est dans ce cas.

La photographie de la figure 6 représente un récepteur à synchronisme direct par roue phonique. Celle-ci se trouve tout à fait sur la droite.

Sur la photographie de la figure 7, on peut voir à droite également la roue phonique d'entraînement de l'émetteur.

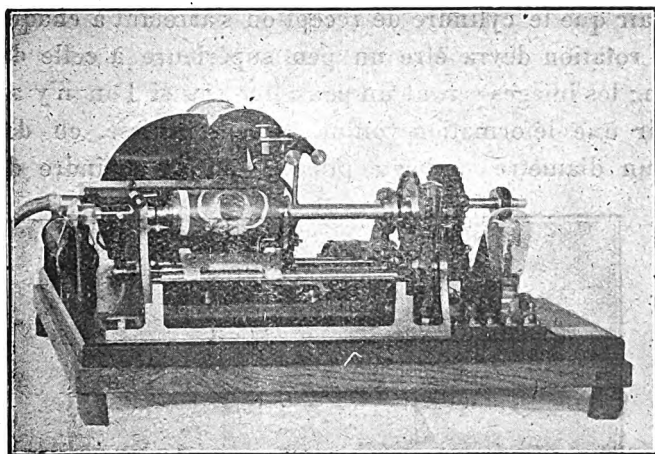


Fig. 7. — Emetteur. — A droite la roue phonique et une lampe à Néon permettant de vérifier la régularité de la rotation. A côté, les engrenages produisant le mouvement longitudinal du cylindre par l'intermédiaire du chariot sur la vis que l'on voit en dessous. Derrière le cylindre, le système optique d'éclairage et la boîte de cellule.

Synchronisation à arrêt.

Quand la transmission doit se faire entre deux points n'appartenant pas au même réseau, on peut alimenter les roues phoniques au moyen de générateurs à lampes, entretenus par des diapasons que l'on a réglés à la même fréquence; mais en raison de la précision extrême d'un tel réglage, on conçoit qu'il ne puisse convenir qu'à des appareils de professionnels. On emploie alors un procédé tout différent dont le principe consiste à éviter l'accumulation des écarts qui résultent, à chaque tour, des petites différences dans la durée de ces tours.

Le tambour d'émission tourne d'un mouvement uniforme — 70 t/mn environ — sous l'impulsion d'une roue phonique alimentée par le secteur. Quant à celui de réception, il est entraîné par un mouvement d'horlogerie analogue à celui d'un phonographe et un dispositif automatique arrête ce cylindre à chaque tour dans une position bien

déterminée, d'où il repart au bout d'un instant très court, sous l'influence d'un signal bref lancé par l'émetteur.

Dans ces conditions, le cylindre de réception repart à chaque tour exactement de la même position au moment où celui d'émission se trouve aussi dans la même situation; la ligne de départ au moins est correctement reproduite et si le mouvement d'horlogerie est assez précis pour conserver toujours la même vitesse, tous les traits parallèles à l'axe sur l'original le seront également sur la reproduction.

Il est clair que le cylindre de réception s'arrêtant à chaque tour, sa vitesse de rotation devra être un peu supérieure à celle du cylindre d'émission; les images seront un peu allongées si l'on n'y apporte pas remède par une déformation voulue en sens inverse, en donnant par exemple un diamètre un peu plus grand au cylindre d'émission.

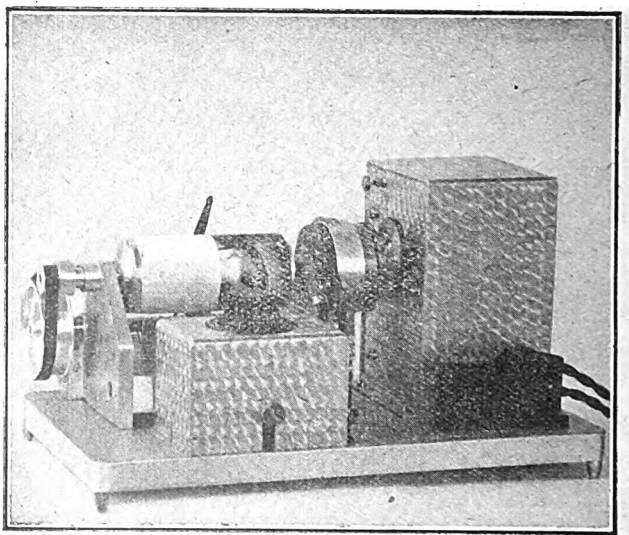


Fig. 8. — Récepteur à arrêt. — A droite le mouvement d'horlogerie sous un capot. A côté, le système d'embrayage à cône. En avant le relais dans sa boîte, A gauche, le changement du pas d'exploration.

Cependant l'arrêt du récepteur peut être tellement réduit que cette déformation devienne négligeable. Il faut d'ailleurs remarquer que cet artifice de l'arrêt, s'il diminue beaucoup la précision à demander au synchronisme, exige cependant l'emploi de très bons mouvements d'horlogerie et d'une mécanique très soignée. Si la vitesse de rotation varie seulement de $\frac{1}{300}$ dans les différents tours du cylindre, dans un sens ou dans l'autre, on voit en effet qu'une ligne droite de l'image pourra se traduire sur la reproduction par une ligne présentant des

sinuosités d'une amplitude de 1 mm; puisque la circonférence vaut environ 150 mm.

S'il s'agissait de vitesses moyennes, une précision de $\frac{1}{300}$ serait aisée à obtenir; c'est le cas d'une pendule qui avance ou retarde de 5 minutes par jour. Mais ici il s'agit des vitesses comparées des tours successifs et le problème devient beaucoup plus délicat à résoudre.

La difficulté est encore accrue par la nécessité des arrêts et des départs brusques qui apportent au mouvement des perturbations continues.

La photographie de la figure 8 représente un appareil à arrêt.

Dispositions mécaniques et fonctionnement.

Voici quelles sont les dispositions de détail employées dans les appareils Belin : sur l'axe du cylindre (fig. 9) est monté un embrayage

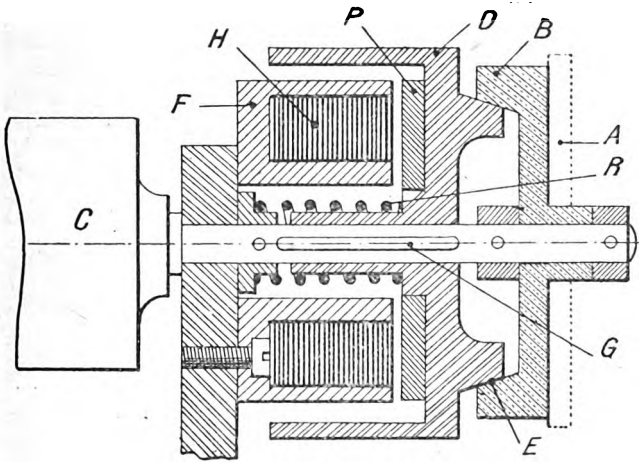


Fig. 9. — Système d'embrayage à cônes.

A. — Engrenage d'entraînement. — B. Cône tournant librement sur l'axe et entraîné par engrenage. — C. Cylindre. — D. Cône entraînant l'axe par la clavette et supportant la palette d'électro. — E. Cônes embrayés par poussée du ressort. — F. Noyau d'électro. — G. Clavette d'entraînement. — H. Bobine de l'électro. — P. Palette d'électro.

à cônes dont la partie mâle peut coulisser le long de deux clavettes longitudinales, mais participe au mouvement de rotation. Le cône femelle est fou et porte l'engrenage sur lequel agit le mouvement d'horlogerie. Dans le cône mâle est logé un électro-aimant à cloche fixé au flasque de l'appareil; en excitant cet électro-aimant, on colle le cône mâle sur le flasque et on bloque le cylindre dans une position

déterminée. Un ressort agit en sens inverse et repousse ce cône chaque fois que le courant ne passe pas dans l'électro-aimant; le cylindre est alors entraîné par le mouvement d'horlogerie.

On voit que ce dernier pourra tourner d'une façon continue et qu'il n'entraînera le cylindre que quand le courant de l'électro sera coupé. L'arrêt du cylindre s'obtiendra au contraire en faisant passer le courant.

C'est une came fixée sur le pourtour du cône mâle qui provoque ce passage en venant toucher un contact. Le schéma de la figure 10 permet de suivre les connexions et les phases successives du fonctionnement.

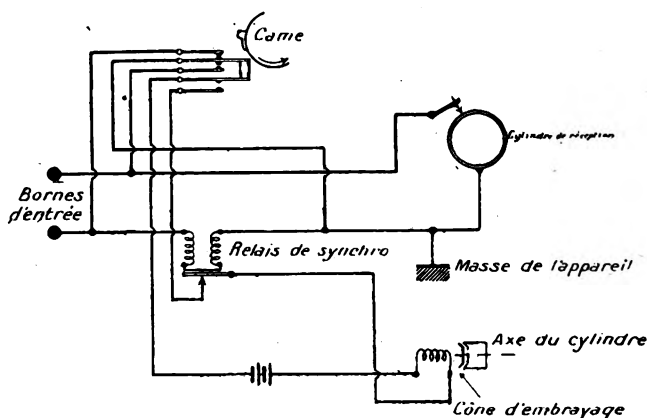


Fig. 10. — Mécanisme de synchronisme de l'appareil à arrêt.

1° Enregistrement de l'image : Le courant venant du redresseur passe par le stylet, traverse le papier imprégné et va à la masse par le métal du cylindre. Pendant ce temps, l'électro-aimant est passif et le relais est court-circuité.

2° Arrêt : La came appuyant sur le contacteur provoque un court-circuit entre le stylet et le cylindre puis, continuant sa route, elle ouvre le chemin au courant à travers le relais; enfin, elle lance dans l'électro aimant le courant de la batterie de 4V (qui sert aussi au chauffage du redresseur) et bloque le cylindre. Le relais se trouve maintenant connecté au redresseur et prêt à recevoir le trop de synchronisme.

3° Départ du cylindre. — A partir du moment où la came a commencé son action, une came correspondante montée sur l'émetteur a arrêté toute émission et au moment où le cylindre de cette dernière arrive à une position définie, elle provoque le lancement d'un signal

très bref à fréquence musicale et plus fort que les signaux d'inscription. Le relais appelle alors sa palette, le circuit de l'électro est coupé et le cylindre récepteur repart pour un nouveau tour.

Mouvement hélicoïdal.

Le déplacement longitudinal du stylet est produit au moyen d'engrenages par la vis horizontale que l'on voit en-dessous du cylindre sur la figure 6. Comme le pas des appareils étrangers est de 0,4 mm, alors que celui des émetteurs Belin est seulement de 0,25 mm, il est nécessaire, pour recevoir les images transmises par les deux systèmes, de disposer d'un mécanisme permettant de faire varier la vitesse d'avancement du stylet. Ce mécanisme est représenté sur la gauche de la figure 8; l'axe du cylindre porte un bloc de deux poulies inégales qui peuvent être liées par une petite courroie à deux autres poulies montées sur le prolongement de la vis d'entraînement; les diamètres des poulies sont calculés pour obtenir le résultat voulu.

Résultats obtenus.

Il est assez difficile de donner une idée exacte des photographies que



Fig. 11. — Photographie prise par le belinographe et provenant d'un émetteur Belin; pas d'exploration 0,25.

l'on peut ainsi recevoir à distance, non seulement à cause des nécessités de l'impression, mais aussi en raison de l'impossibilité de les

reproduire avec leur teinte bleue normale. Nous avons cru cependant utile d'en reproduire ici (fig. 11 et 12) deux spécimens provenant d'émissions du système Belin et du système Fulton (transmises par Daventry) et reçues sur les appareils que nous venons de décrire. Si le tirage est convenablement effectué, ils permettront au moins de se faire une idée des différences dans la finesse, qui résultent des dimensions du pas d'exploration.

On peut maintenant se demander quelle est l'utilisation de la



Fig. 12. — Photographie prise avec le belinographe et provenant de l'émetteur Fulton (Daventry) pas d'exploration 0,4.

phototélégraphie pour les amateurs. La psychologie d'un amateur est assez difficile à pénétrer et quelques personnes, dont le jugement paraît cependant très normal, se demandent quel intérêt majeur on peut trouver dans la réception « télégraphique » d'une photographie banale que l'on trouvera le lendemain dans son journal. La question n'est pas là, l'amateur a des raisons que la raison ne connaît pas. Il a fait de la radiophonie avec enthousiasme à une époque où ses oreilles ne le lui conseillaient certainement pas ; il se prépare à faire de la phototélégraphie ; il en fait déjà !

Et pour le servir et lui plaire, on cherchera à ajouter à l'attrait du nouveau, celui de l'utile et de l'agréable ; on y réussira certainement.

Mais ce n'est pas tout. La diffusion des appareils très simples que nous venons de décrire est certainement appelée à rendre des services importants dont plusieurs nous échappent encore, mais parmi lesquels on peut citer, dès maintenant, les applications policières et météorologiques.

COMPTE RENDU DE LA RÉUNION DE LA COMMISSION INTERNATIONALE D'ÉCLAIRAGE AUX ÉTATS-UNIS, EN SEPTEMBRE 1928

par M. Maurice LEBLANC ⁽¹⁾.

La délégation française à la Commission internationale d'éclairage, présidée par M. le Professeur CHAPPUIS, comprenait :

M. CELLERIER : *Vice-Président*; et MM. BLONDIN et M. LEBLANC, *Secrétaires du Comité National français d'éclairage* et MM. JOUAUST, EXELMANS, GOUFFE, MAISONNEUVE, RECLUS, DE VALBREUZE.

Quatre dames accompagnaient la mission : Mmes JOUAUST, MAISONNEUVE, DE VALBREUZE, Mlle BLOIN, *Secrétaire* de M. CHAPPUIS.

La mission, après un séjour de trois jours à New-York où elle avait débarqué le 3 septembre, prenait part à un « Tour », organisé par le Comité Américain, qui passait par Boston, Philadelphie, Washington, Cleveland, Détroit, Chicago, Niagara Falls, Toronto.

A Toronto, elle assistait du 17 au 20 septembre, au Congrès National annuel de l'Illuminating Engineering Society, des États-Unis. Elle gagnait ensuite Montréal par bateau, à travers les lacs Ontario et le Saint-Laurent, pour redescendre à Saranac où avait lieu du 22 au 28 septembre, la réunion de la Commission Internationale de l'Eclairage.

La dislocation avait lieu dans cette ville. La plus grande partie de la mission française remontait vers Montréal pour s'embarquer à Québec sur l'*Empress of Australia*.

Personnellement, j'avais en outre profité d'une visite en automobile, organisée à partir de Saranac par la General Electric Co, pour visiter les laboratoires de cette Société à Shenectady, le 29 septembre.

La délégation française était partie avec une certaine appréhension sur le sort futur de la Commission Internationale.

Le Comité Français avait, en effet, été saisi dans les mois précé-

(1) Présenté à la Société française des Electriciens, en sa séance mensuelle du 5 janvier 1929.

dents par le Bureau Central, de propositions de modification des statuts, émanant du Bureau Central et du Comité des Etats-Unis et qui indiquaient plus ou moins franchement le désir de ces deux organismes de voir la Commission Internationale se transformer en Congrès International. Le Comité français n'était pas partisan de cette transformation. Un congrès est une réunion ouverte à tous ceux qui acceptent de payer une certaine cotisation et acquièrent par cela même le droit de participer au vote des résolutions. Les participants y sont en général trop nombreux pour accomplir un travail productif; en outre, la majorité appartenant forcément aux nationaux du pays où se tient le Congrès, celui-ci a toujours tendance à voter des résolutions imprégnées des conceptions particulières de ce pays. Au contraire, la Commission Internationale ne comprend que les représentants officiels des Comités Nationaux et le vote s'y fait par nation.

Le Comité français avait cependant, dans son contre-projet, proposé qu'un congrès pourrait être réuni à l'occasion de la réunion de la Commission, celle-ci conservant son indépendance et étant seule qualifiée pour prendre des décisions de portée internationale.

Ces questions de révision des statuts se soulevèrent dès le retour aux Etats-Unis des délégués américains qui, à Bellagio en septembre 1927, avaient invité la Commission Internationale à se réunir l'année suivante dans leur pays. Quand ils prirent contact avec certaines organisations commerciales et industrielles, pour leur demander de participer aux frais très importants de la réunion projetée, ces délégués reçurent un accueil peu enthousiaste, le rôle de la C. I. E. paraissait incompris, et même regardé avec une certaine défiance. Cette tendance se manifesta d'ailleurs plus tard quand M. CHAPPUIS, qui représentait la France à la Commission de Révision des Statuts, voulut faire introduire dans ceux-ci un passage précisant que le devoir de chaque comité national était de s'efforcer de faire adopter officiellement dans son pays les décisions de la Commission Internationale. Les Etats-Unis s'opposèrent formellement à cette proposition.

Dans un esprit analogue, les « résolutions » de la Commission ne furent plus appelées dans les statuts que « recommandations ».

Si l'industrie américaine soutient la science de ses subsides, elle entend en revanche que celle-ci reste à son service immédiat. Mais un tel état d'esprit menace singulièrement l'autorité des futurs congrès internationaux.

Les industriels et commerçants américains étaient, au contraire,

tout disposés à faciliter la réunion d'un Congrès où pourraient se discuter des questions d'un but plus immédiatement commercial.

C'est devant la crainte de voir se créer à côté d'elle un organisme lui enlevant une partie de ses prérogatives et devant l'exemple de ce qui s'était passé pour la Commission Electrotechnique Internationale, que la Commission Internationale d'Eclairage se décidait à amender ses statuts, et tout en restant un organisme de normalisation, à devenir également un centre d'études des questions d'éclairage, scientifiques, techniques et pratiques.

La délégation française effectua sa traversée sur le même bateau que la délégation britannique et que MM. PATERSON et WALSH, Président et Secrétaire de la Commission Internationale.

Disons tout de suite que l'accord se fit immédiatement et en toute cordialité, entre les délégués anglais et français, sur un texte peu différent du projet français et qui fut adopté dans la suite à Saranac avec de très légères modifications.

La valeur des solutions pratiques apportées aux problèmes d'éclairage ne pouvant être justement appréciée que la nuit, les congrès d'éclairage ont ceci de particulier, qu'ils se déroulent en grande partie le soir.

Après avoir consacré la journée à des visites d'usine ou à des excursions, les délégués employaient leurs soirées à parcourir en automobile les rues et à visiter des usines et des monuments publics, dont l'éclairage était particulièrement remarquable.

On pourrait reprocher à ces visites leur caractère plus commercial que scientifique, mais il ne faut pas oublier tout d'abord que dans l'éclairagisme, la partie purement scientifique est de peu d'importance, à côté de la technique des applications pratiques, et qu'en outre, les organisations commerciales ou industrielles dont nous étions les hôtes, désiraient très justement nous faire admirer le résultat de leurs efforts considérables.

Mon intention étant surtout d'indiquer ce que nous avons vu, au point de vue éclairage, de particulièrement intéressant, soit par la nouveauté des solutions, soit par l'ampleur des réalisations; je grouperai mes observations non en suivant l'ordre de leur enregistrement, mais par catégorie.

Avant de commencer, il est de mon devoir de rendre hommage à nos hôtes qui nous ont reçus non seulement d'une manière très large et très généreuse, mais encore avec une extrême cordialité.

En particulier, notre collègue M. JOHN LIEB, président du Comité

de réception, et MM. Julien DANIELS et MURILL, les organisateurs du voyage, firent les plus grands efforts, pour rendre notre séjour très agréable et ils y réussirent parfaitement.

Éclairage des rues.

Nous avons naturellement porté sur ce point une attention particulière.

Nous avons constaté dans les villes un très grand effort pour développer l'éclairage des voies principales ; celui des voies secondaires reste à peine suffisant et inférieur à ce qu'il est en Europe. Chaque ville cherche à avoir « la rue la mieux éclairée du monde », la « White Way » ou la « Super White Way » avec des éclairages de l'ordre de 40 lux, et le trophée passe sans cesse de l'une à l'autre : Superior Avenue de Cleveland, State Street de Chicago, etc... Le Washington, Boulevard de Détroit tient depuis quelques mois la première place. Une promenade qui s'étend tout le long de ce boulevard fournit un emplacement favorable à l'installation de candélabres artistiques de 10 m de haut portant chacun 5 unités de 1 000 W ; il y a deux rangées de ces supports séparées par une distance de 30 m, le flux produit est d'environ 6 000 lumens par mètre de longueur du boulevard.

Les globes sont faits de verre « alabaster » résistant à la chaleur. On rencontre aussi, mais plus rarement des réfracteurs Holophane, des divers types : asymétriques, bisymétriques. Enfin, l'éclairage de quelques grandes routes au voisinage des villes est assuré par des lampes à incandescence munies de réflecteurs paraboliques et placées à grande hauteur.

Dans les voies principales, les supports sont constitués par des candélabres ornés, généralement du type droit, simple ou à deux branches (exceptionnellement trois) ; dans les voies des quartiers d'habitation (résidentiel) souvent plantées d'arbres, on utilise des candélabres à potence. Dans les voies secondaires, les poteaux télégraphiques ou de trolley servent généralement de supports aux appareils d'éclairage public, simplement constitués par un bras, ou tube d'acier à l'extrémité duquel est suspendue la lampe.

La hauteur des sources lumineuses, généralement comprise entre 4,60 m et 6,70 m, atteint exceptionnellement 10 m sur les routes au voisinage des villes. L'entretien des appareils élevés s'effectue au moyen d'échafaudages légers portés par une automobile.

Les appareils sont le plus souvent disposés en « quinconce » ; les espacements, suivant l'axe de la voie de 25 m à 45 m pour les voies importantes, atteignent 60 m dans les voies secondaires.

Certains éclairages de luxe sont établis avec le dispositif en « vis-à-vis », les appareils étant espacés de 3 m.

Nous avons eu la surprise de constater qu'un grand nombre d'installations de lampes à arc à magnétite subsistaient encore. Ces lampes, qui ne fonctionnent que sur courant continu, donnent environ 1 800 bd (6,6 A, 530 W), la tension aux bornes est d'environ 75 V. Elles sont généralement installées en grandes séries de 50 ou 75 lampes ; le courant continu à haute tension nécessaire est donné par un redresseur à mercure, alimenté par un transformateur à fuites variables, qui permet d'allumer un nombre variable de lampes. La lumière, très blanche, est un peu flottante. Ce système tend cependant à céder la place à l'éclairage par lampes à incandescence en série, qui se développe tous les jours davantage, à cause de sa simplicité d'installation et de contrôle. Les premières installations ont été faites pour des courants de 6,6 ou 7,5 A comme les installations de lampes à arc qu'elles remplaçaient, mais les nouvelles installations sont faites pour 20 A. Ces circuits sont généralement commandés à distance par fil pilote ; mais on trouve aussi, en particulier sur le réseau de Edison Electric Illuminating Company à Boston, des commandes par relais à haute fréquence, les courants à haute fréquence destinés à les actionner circulant sur le réseau même de distribution. La constance du courant est assurée par des transformateurs à bobine secondaire mobile par rapport à la bobine primaire, leur position relative variant avec la charge secondaire.

Il existe, pour l'étude des divers procédés d'éclairage des rues, des « rues laboratoires ». Nous avons pu examiner celle des usines de la General Electric à Lynn, où, sur une centaine de mètres, peuvent être à volonté, réalisés un très grand nombre de types d'éclairage par commande à partir d'un poste central et celle de Cleveland, de plusieurs centaines de mètres de longueur.

Nous avons assisté sur le terrain de sports de la General Electric Co à Lynn à une partie de base-ball et à une partie de foot-ball. Le terrain était éclairé par 60 projecteurs de 1 500 W, 24 de 1 000 W et 4 phares de 1 000 W. L'éclairement moyen au sol était voisin de 40 lux et une portion notable de la lumière était dirigée vers le haut, de telle sorte que la balle de base-ball, parfois lancée à grande hauteur, apparaisse toujours très blanche sur le fond sombre du ciel.

Publicité lumineuse.

La publicité lumineuse a reçu une énorme extension. L'usage des tubes à néon ou à mercure est actuellement moins développé qu'en France ; la plupart des motifs sont constitués à l'aide de rangées de lampes à incandescence, avec modification de la forme et de la couleur du dessin. Une nouvelle lampe de 10 W, à petite ampoule, a été récemment créée dans le but de permettre une plus grande finesse du dessin et une meilleure visibilité des textes. On trouve aussi de grands panneaux peints de couleurs vives et éclairés par des projecteurs placés en avant. Leur lumière, généralement colorée et changeante, produit un effet particulièrement attractif.

Le motif de publicité le plus brillant est installé sur Broadway à New-York, et couvre 600 m², il a une centaine de mètres de longueur, cinq étages de haut, et porte 8 115 lampes.

Le plus long du monde a 270 m de long et est éclairé par projecteur. Les lettres sont en acier émaillé blanc, et montées sur un fond en treillis métallique ; deux lampes de 100 W placées dans des réflecteurs à grande efficacité éclairent chaque lettre. Le plus grand motif est celui de Denver qui est circulaire et d'un diamètre de 19 m le sommet est à 25 m au-dessus du toit d'un bâtiment de dix étages. Il contient 5 488 lampes de 10 W et est lisible à 2 km.

Eclairage par projecteurs. — Flood Lighting.

Les Américains font un usage de plus en plus étendu de l'éclairage des bâtiments par projecteurs et obtiennent des résultats très artistiques. Ils ont renoncé complètement aux rampes à gaz ou aux rampes électriques qu'on leur avait simplement substituées, sans chercher à profiter des possibilités nouvelles qu'offrait l'emploi de l'électricité. Ces rampes dessinent, sur la façade des bâtiments des lignes lumineuses, qui, par l'éblouissement qu'elles causent, ne permettent d'apercevoir aucun détail d'architecture. Ce nouvel éclairage s'effectue à l'aide de projecteurs contenant des lampes à incandescence, dont la puissance varie entre 1 000 et 3 000 W, la coloration de la lumière étant obtenue à l'aide d'écrans colorés en gélatine. Ces projecteurs sont placés, soit sur le bâtiment lui-même, soit sur des bâtiments voisins, soit même, au besoin, sur les candélabres d'éclairage public, le plus haut possible en un mot. Il est bien évident, en effet,

que si on les place très près et au pied même du monument, comme on l'a fait pour l'Arc de Triomphe à Paris, il y a une énorme perte de lumière, normalement réfléchie vers les nuages.

L'effet obtenu en lumière blanche, la seule employée pour les monuments publics, est certainement très beau. L'éclairage en lumière colorée, qui plaît tant aux Américains, choque un peu notre goût, mais il est possible que ce soit simplement un manque d'accoutumance ; en tous cas, les effets obtenus sont très originaux. La consommation d'énergie nécessaire pour l'éclairage d'un monument public ou d'un building est très considérable, elle peut atteindre de 100 à 300 kW.

Par exemple, l'éclairage de l'Union Terminal Tower à Cleveland, comprend 56 réflecteurs à large faisceau de 200 W, 116 projecteurs à faisceau étroit de 500 W, 68 projecteurs à faisceau moyen de 100 W ; ces équipements sont montés au-dessus du 34^e étage, et donnent sur la partie éclairée un éclairement moyen de 200 lux. Enfin, au sommet, 4 projecteurs d'aviation de 1 500 W.

Dans le cas d'un building, la dépense est supportée par le propriétaire, qui considère qu'il augmente ainsi la valeur locative de ses bureaux. Nous avons, en particulier, admiré l'éclairage extérieur du New Edison building à Philadelphie, de l'Union Terminal Tower à Cleveland, du Capitol, du Washington Memorial et du Lincoln Memorial à Washington.

Les Américains sont particulièrement fiers de l'éclairage des chutes du Niagara, réalisé à partir de la rive canadienne, à l'aide de 24 projecteurs à arc, munis de miroirs de 90 cm de diamètre.

En réalité, l'effet obtenu est assez décevant, la lumière incidente et la lumière réfléchie doivent traverser un épais nuage de gouttelettes d'eau qui s'élève de la chute et celle-ci, vue de la rive canadienne, paraît peu éclairée. En revanche, ces nuages d'eau illuminés donnent, vus d'amont, un effet d'incendie lointain assez curieux. L'effet est plus impressionnant au pied même des chutes, l'eau qui tombe donnant l'impression d'être elle-même lumineuse. Cette puissante batterie de projecteurs permet aussi d'obtenir dans le ciel ces effets d'éventails colorés qui avaient été réalisés, pour la première fois, par M. RYAN de la Général Electric Co, à l'exposition universelle de San-Francisco.

A Saranac, M. RYAN avait installé, devant la façade de l'hôtel sur le lac, un immense monogramme I. C. I., dessiné en verres taillés et éclairé par quatre projecteurs colorés.

De l'avis général, ce monogramme constituait une des plus belles

choses réalisées jusqu'ici dans le domaine de la publicité lumineuse.

Fontaines lumineuses.

Ce goût des lumières colorées conduit naturellement à celui des fontaines lumineuses. On nous fit spécialement admirer la Buckingham Fountain sur le front de lac à Chicago, que les Américains prétendent être la plus belle fontaine du monde.

Eclairage intérieur.

Nous n'avons pas eu l'occasion de juger l'éclairage domestique. L'éclairage des halls, salons, salles à manger d'hôtel, nous a paru très faible, insuffisant même généralement. Les lampes sont suffisamment puissantes, mais elles sont entourées d'écrans en papier ou en étoffe très épais.

Nous avons vu quelques exemples de plafonds lumineux colorés, à coloration changeante ; un effort est d'ailleurs fait en général pour introduire la lumière colorée dans l'éclairage domestique.

Il en est fait déjà usage, d'une manière un peu trop désordonnée, dans les cinémas, les variety théâtres, les dancings, en vue de créer une ambiance, mettant le spectateur en état de juger le spectacle avec plus d'indulgence.

Les spécialistes américains prétendent que chaque lumière colorée produit sur nous une sensation déterminée, que l'on peut très bien associer à d'autres sensations différentes à celles produites, par exemple, par l'audition d'un concert. La question est sérieusement étudiée au laboratoire de la Société Edison à Harrison, où nous avons assisté à un concert auditif et visuel. Les auditeurs sont placés devant un rideau de velours gris, dont, pendant l'audition, la coloration qui n'est pas en général uniforme, varie constamment.

Certains cinémas de direction américaine, essayent actuellement d'implanter à Paris ces concerts de couleur.

Eclairage des usines et des bureaux.

Nous avons pu constater la fréquence de l'emploi de la lumière artificielle en plein jour dans les usines et les bureaux. En particulier, quand nous avons visité la fabrique de carrosserie d'automobile Fisher Body Company à Detroit, elle avait un éclairage très intense par

lampes à vapeur de mercure et lampes à incandescence, alors que de larges baies laissaient amplement pénétrer le soleil.

Dans certains cas, l'intensité d'éclairement paraît d'ailleurs plus élevée qu'il n'est nécessaire ; nous avons visité de nuit à Cleveland, une usine de petite mécanique, Leece Neville, où l'éclairement dû à des lampes à incandescence de 200 à 300 W, variait d'un atelier à l'autre de 120 à 180 lux, valeurs qui paraissent tout à fait injustifiables.

Les Américains sont, à juste titre, fiers de leurs gratte-ciel. Ils ont créé là un art architectural nouveau qui donne à leurs cités un aspect impressionnant de puissance mais, comme leurs rues ne sont pas plus larges que les nôtres, malgré les artifices utilisés, baies d'autant plus grandes que l'on est plus près du sol, façades presque entièrement formées de vitres, étages supérieurs en retrait, il fait naturellement assez obscur aux étages inférieurs. Ils se débarrassent de cette difficulté en assurant que l'homme peut parfaitement vivre à la lumière artificielle, car disent-ils on ne peut avancer aucun argument sérieux pour prouver le contraire, et les expériences par lesquelles on a cherché à démontrer que les rayons ultra-violet solaires sont nécessaires à la vie, sont peu convaincantes.

Éclairage des monuments publics.

Nous avons visité un certain nombre de monuments publics dont l'éclairage offre des particularités intéressantes.

Le Lincoln Memorial building à Washington est partiellement éclairé de jour. La lumière du soleil, réfléchi sur le visage de la statue de Lincoln, par le sol en marbre poli, lui donnait une impression qui n'était pas naturelle. Pour corriger cet effet, deux panneaux de marbre furent enlevés et remplacés par des dalles en verre artistique. A travers ceux-ci, les faisceaux de douze projecteurs équipés avec des lampes de 1 000 à 1 500 W sont concentrés sur le bas de la figure. Une dalle semblable a été placée sur la gauche, à travers laquelle, la lumière de douze projecteurs de 500 W est aussi concentrée sur la statue. Les ombres produites rendent à la statue son expression normale.

Le Musée d'art de Philadelphie est entièrement éclairé à la lumière artificielle. Les plafonds sont lumineux et laissent passer la lumière de projecteurs munis de lampes dites « lumière du jour ». D'autres lampes sont placées dans des cavités dissimulées dans des moulures

du plafond ; d'autres enfin, sont utilisées dans des fenêtres artificielles ; aucune lampe n'est visible.

Un éclairage du même genre est réalisé dans les souterrains du « Sub-way » de Cleveland. Les lampes sont dissimulées dans les colonnes qui soutiennent les voûtes et cachées par des plaques de verre affleurant la surface extérieure de la colonne.

Nous avons vu l'éclairage de la bibliothèque du Congrès à Washington, constitué par des rangées de lampes à incandescence, disposées verticalement le long des corniches et celui du public Auditorium de Cleveland. Cette immense salle de concert, qui contient 15 000 places, est éclairée par un plafond lumineux, derrière lequel se trouvent 320 lampes de 750 W, munies d'écrans colorés ; il y a également, dans la salle, 630 lampes de 200 W munies d'écrans colorés et enfin, sous le balcon, 25 lampes de 300 W dans des réfracteurs.

Enfin, dans une soirée à l'Université de Toronto, une fête de natation fût donnée dans la piscine, éclairée par une série de projecteurs disposée sous l'eau, de manière qu'aucun rayon lumineux ne puisse venir gêner les spectateurs. Les nageuses en exhibition qui, avaient fait partie du team envoyé par le Canada aux Jeux Olympiques d'Amsterdam, étaient revêtues de maillots couverts d'écailles argentées.

Salles de démonstration.

Nous avons visité les salles de démonstration qui ont servi de modèle à celles installées en Europe, le Laboratoire de New-York Edison Company à Harrison, les salles de démonstration de la même Compagnie à Coney Island, celles de Nela School of Lighting à Nela Park (Cleveland), celles de l'Illuminating Laboratory de la General Electric Co à Shenectady.

Ces salles, qui ont été bien évidemment établies dans le but purement commercial d'augmenter la vente d'énergie électrique, celle des lampes et des divers appareils d'éclairage, servent aussi à faire l'éducation du public et à lui apprendre à s'éclairer rationnellement. Il est bien possible que quelquefois ce but ait été dépassé, et qu'on ait conseillé au client éventuel des dépenses d'éclairage superflues, mais il est juste, je crois, d'admettre que considérées dans leur ensemble, les campagnes pour un meilleur éclairage ont eu une action bienfaisante.

Par suite de rapports personnels nombreux entre nos ingénieurs

et les ingénieurs américains, qui ont été entièrement nos éducateurs dans cette voie, les méthodes de démonstration européennes sont calquées justement sur les méthodes américaines qui ont la consécration du succès.

Cependant, nous avons vu à Harrison et surtout à Nela Park, des modèles réduits de rues, dont les plus petits détails sont reproduits à une même échelle et qui permettent de comparer les effets produits par différents systèmes d'éclairage. Le prix extrêmement élevé de ces modèles réduits, n'a pas permis, jusqu'ici, de les introduire en France.

Laboratoires de photométrie.

Nous avons également visité les laboratoires de photométrie officiels ou appartenant à de grandes sociétés. Ceux de Electrical Testing Laboratories de New-York, dirigés par M. Sharp, ceux de Massachusetts Institute of Technology à Boston et du Bureau of Standards à Washington, et ceux de la General Electric Co à Cleveland et Shenectady.

Ces laboratoires sont bien montés, mais ne comprennent pas d'installations ou d'appareils que nous ne puissions rencontrer dans les laboratoires français ; on peut, peut-être, cependant, faire une exception pour la salle d'essais des projecteurs de la G. E. Co à Shenectady.

Congrès de l'Illuminating Engineering Society à Toronto.

L'Illuminating Engineering Society des Etats-Unis tient, tous les ans, un congrès dans une ville différente. Cette année, sa vingt-deuxième réunion avait lieu à Toronto, ville frontière et de caractère nettement américain. Nous avons été cordialement invités à ce congrès, dont nous avons suivi les manifestations avec intérêt.

Cinq cent cinquante-deux congressistes étaient réunis. Malheureusement, les discussions techniques avaient lieu en américain et en américain de toutes les régions des Etats-Unis ; elles étaient, par suite, fort difficiles à suivre pour des Européens, même quelquefois pour des Anglais, de sorte qu'il m'est difficile d'en donner une impression personnelle, bien nette.

Le congrès s'ouvrit, le lundi matin 17 septembre, par une séance plénière. Les réunions techniques de l'après-midi furent consacrées à l'Eclairage Naturel et à la Pratique de l'Eclairage ; celles du mardi

matin aux applications de l'Eclairage et aux Travaux de Laboratoires.

Le mardi soir eut lieu un dîner à l'Université de Toronto, à la suite duquel, Miss Lilliam E. Eddy, fit une conférence sur « l'Eclairage du home, pour les occasions spéciales ». La conférencière avait pris soin de décorer les tables pour illustrer ses conseils, mais il nous a paru toute question de goût mise à part, que les éclairagements réalisés étaient trop faibles et que d'autre part, toutes les précautions n'étaient pas prises pour éviter les phénomènes d'éblouissement.

La matinée du mercredi fut consacrée à la pratique et au développement de l'éclairage en Europe, et l'après-midi à une session plénière, au cours de laquelle furent lus des mémoires d'intérêt général. Il serait fastidieux de donner la liste des trente communications présentées à ces diverses réunions et qui traitaient de questions techniques, scientifiques même, aussi bien que de questions de la pratique la plus courante. Quelques-unes d'entre-elles étaient dues à des Européens, et M. Maisonneuve, Ingénieur à la Compagnie des Lampes, fit, dans la salle de théâtre de l'Université de Toronto, une communication sur « L'Art moderne dans l'éclairage, son développement en Europe », qui, illustrée par de nombreuses projections, remporta un très vif succès.

Ce congrès fut naturellement agrémenté d'un tournoi de golf, où notre camarade CELLERIER fut seul à représenter la délégation française, et d'un banquet suivi d'une soirée dansante clôturant de façon très gaie ce congrès qui fut un grand succès.

Réunion de la Commission Internationale d'Eclairage à Saranac Inn.

La réunion de la Commission internationale d'éclairage, but de notre voyage, eut lieu du 22 au 28 septembre à Saranac Inn.

Saranac Inn est un lieu de résidence touristique situé dans la région des lacs qui bordent le versant oriental des Adirondacks.

Il se compose uniquement d'un hôtel situé dans une presqu'île, au milieu d'un lac entouré de tous côtés de collines boisées et qui est à plusieurs kilomètres de toute agglomération.

La saison étant déjà très avancée, l'hôtel abandonné par les touristes, convenait parfaitement au travail d'un congrès. Un temps particulièrement rigoureux nous enleva d'ailleurs toute occasion de profiter des nombreuses distractions touristiques ou sportives qu'offre normalement ce séjour.

La Commission Internationale, présidée avec autant de fermeté que

de bienveillance, par M. PATTERSON, fit un travail considérable et dans tous les comités techniques, on put aboutir, en temps voulu, à la rédaction de résolutions qui furent ensuite adoptées en assemblée plénière.

On sait que la précédente réunion de la Commission à Bellagio, en septembre 1927, avait décidé d'adopter une nouvelle méthode de travail, imitée de celle du Comité Electrotechnique International. Un certain nombre de sujets d'études sont choisis et chacun d'eux est confié à un comité national qui agit comme secrétariat, vis-à-vis de tous les autres comités nationaux. Il est chargé de réunir la documentation générale et les communications, en un rapport qui doit être discuté aux réunions de la Commission Internationale.

À la vérité, le trop court délai écoulé entre les réunions de Bellagio et de Saranac, ne permit pas de porter un jugement définitif sur l'efficacité de cette méthode de travail, mais les résultats déjà obtenus étaient suffisants pour que l'expérience méritât d'être continuée.

La France avait été chargée, grâce à l'autorité scientifique de MM. FABRY et BLONDEL des secrétariats de deux comités, ceux de photométrie hétérochrome et des définitions et symboles.

D'autre part, M. PATTERSON ayant décidé de faire présider les séances des comités techniques par un président de nationalité différente de celle du secrétaire rapporteur, trois de ces présidences avaient été accordées à la France. Celle du comité de vocabulaire à M. BLONDIN, celle du comité de la Précision de la Photométrie à M. CHAPPUIS, celle des Matériaux Diffusants à M. Maurice LEBLANC.

Enfin, une commission avait été formée, dès le premier jour, pour procéder à la révision des statuts, commission dont faisaient partie tous les chefs de délégations. M. CHAPPUIS fut choisi à l'unanimité par ses collègues, comme président de cette commission. Nous avons dit précédemment de quelle manière particulièrement heureuse s'étaient déroulés les débats de cette commission.

J'eus la charge du Comité de Rédaction, qui doit rédiger en français, langue officielle du congrès, les résolutions des comités techniques, avant leur vote par l'assemblée plénière.

À Bellagio avaient été créés 15 comités techniques, à savoir : Eclairage des Rues. Projecteurs d'Automobiles. Distribution du Flux de Lumière. Plaques d'Essais de Photométrie. Eclairage Diurne. Vocabulaire. Eclairage des Usines et des Ecoles. Définitions et Symboles. Verres colorés pour les Signaux. Matériaux Diffusants. Précision de la

Photométrie hétérochrome. Eblouissement. Tous ces comités se réunirent à Saranac Inn.

Une concession avait été faite aux désirs exprimés par certains pays de voir la Commission Internationale s'intéresser davantage aux questions pratiques en tenant, en outre, des réunions techniques consacrées à : Enseignement de l'Art de l'Eclairage. Eclairage pour la Navigation Aérienne. Eclairage des Appartements. Eclairage des Devantures de magasins.

Le Comité exécutif qui clôtura le congrès décida d'ailleurs la formation de nouveaux comités techniques pour chacune de ces questions ce qui en portait ainsi le nombre total à 20.

Ce morcellement, qui a pour but d'assurer qu'aucune question ne sera négligée, en fixant la responsabilité de l'étude de chacune d'elles, n'est pas non plus sans inconvénient. Il est d'abord visible, au simple examen des titres des comités que, tandis que le programme de certains d'entre eux semble restreint, d'autres ont devant eux une tâche considérable. D'autre part, la nécessité de discuter sur autant de sujets distincts, à chaque réunion de la Commission Internationale, risque d'étendre démesurément la longueur de celle-ci, et d'y rendre difficile la représentation des divers comités nationaux.

Pour éviter, dans une certaine mesure, cet éparpillement, le Comité Exécutif s'est efforcé fort justement de confier les nouveaux Comités Techniques aux Comités Nationaux déjà chargés de l'étude de sujets analogues.

Le nombre de communications présentées s'est élevé à une soixantaine, mais beaucoup d'entre elles, quoique très intéressantes, ne se rapportaient pas exactement aux sujets mis à l'ordre du jour, et auraient mieux trouvé leur place dans un congrès comme celui de Toronto. Leur présentation et leur discussion, quelle que soit l'énergie des présidents et leur habileté à éviter les froissements d'amour-propre, alourdisaient et allongeaient les séances.

Aussi, le désir se manifestait-il, en fin de congrès, de limiter, dans l'avenir, la discussion au rapport officiel du secrétariat, le rapporteur se chargeant de retenir et de présenter lui-même les communications utiles au progrès ou à la compréhension du sujet mis à l'ordre du jour. Toutes les autres communications seraient renvoyées à un congrès se tenant un peu avant la réunion de la commission internationale.

Je m'excuse de m'être étendu aussi longuement sur les détails de l'organisation de cette réunion internationale, mais les questions

soulevées sont communes à toutes les réunions internationales, et d'elles dépendent en grande partie, le résultat productif des discussions techniques qui s'y déroulent.

Je voudrais, cependant, avant de quitter définitivement ce sujet, dire un mot de la question des langues.

Statutairement trois langues sont acceptées pour les discussions : l'allemand, l'anglais et le français. Mais seul le français est langue officielle, c'est-à-dire, la langue dans laquelle sont rédigés les statuts, les procès-verbaux et les résolutions. Cette faveur, il la mérite bien d'ailleurs par ses qualités de précision et de clarté, car le rôle que j'ai joué au Comité de Rédaction m'a permis de constater une fois de plus que la traduction en français d'une résolution rédigée en anglais, langue au vocabulaire plus riche que la nôtre, mais où abondent les mots au sens trop général, exige plus qu'un effort de substitution de mots, la nécessité de préciser le sens du texte original. Tous ceux qui fréquentent les congrès internationaux doivent bien reconnaître que la question des langues devient de plus en plus aiguë, au cours des discussions techniques. Les Américains ne connaissent pas en général les langues européennes. L'importance numérique de leur représentation, le nombre et la qualité des travaux qu'ils apportent, font qu'une grande partie des discussions ont lieu forcément en anglais. La difficulté de trouver des traducteurs compétents, la lassitude que cause d'ailleurs rapidement la traduction en plusieurs langues d'un même discours, font que les Européens qui comprennent pour la plupart l'anglais, renoncent assez rapidement à toute traduction, et que l'ensemble de la discussion finit par se passer en anglais, mais malheureusement sans que les représentants des autres nations puissent en tirer un profit complet.

Chaque année de nouvelles nations s'ouvrent à la vie scientifique, et demandent à exprimer leurs idées dans leur langue habituelle, il est difficile de ne pas leur accorder tôt ou tard ce droit.

Seule, l'adoption d'une langue internationale pourra permettre de sortir de cette difficulté, et d'assurer dans l'avenir la possibilité de congrès internationaux.

Il n'est pas possible de songer à analyser ici l'ensemble des travaux présentés devant les divers comités techniques, et je me contenterai d'attirer l'attention sur quelques-uns d'entre eux et en particulier sur la contribution française.

La question technique la plus importante à l'ordre du jour, était

celle des unités. En fait, il n'y a pas actuellement d'unités internationalement adoptées en photométrie ; les pays anglo-saxons conservant le foot candle et les Allemands la bougie hefner. Comme on ne peut espérer voir les Anglais et les Américains renoncer prochainement au pied pour adopter le mètre, la délégation française, sur l'initiative de M. BLONDEL, proposait d'abandonner les unités basées sur le système métrique (lumens-lux) pour en prendre d'autres basées sur le système C.G.S. (phot.).

Il fut assez piquant de rencontrer de fermes défenseurs des unités métriques parmi ceux qui ne les utilisent jamais en pratique et finalement la question de l'adoption des unités C. G. S. fut renvoyée à l'examen des comités nationaux. Il fut bien entendu que chaque nation continuerait à utiliser les unités dont elle a l'habitude, mais que, dans les publications destinées à être lues à l'étranger, chaque mesure en unités nationales serait suivie d'un nombre, entre parenthèses, donnant la mesure de la même quantité en unités internationales.

Quant à la bougie Hefner, on peut espérer voir l'Allemagne y renoncer, quand un nouvel étalon photométrique plus satisfaisant que les étalons actuels aura pu être réalisé.

On sait que la France apporte à la détermination d'un nouvel étalon de lumière, une contribution des plus importantes. Depuis plusieurs années une commission du Comité français, présidée par M. ABRAHAM, poursuit des travaux dont le but est l'établissement d'un étalon primaire de lumière basé sur la brillance d'un corps noir utilisé dans des conditions sujettes à définition précise. Ces travaux, qui font suite à ceux exécutés par M. FLEURY, au Laboratoire de l'Ecole Normale Supérieure, sont poursuivis par M. GOUFFE, grâce à la généreuse hospitalité offerte par M. ROULAND, Président du comité français et Directeur de la Société du Gaz de Paris, au Laboratoire d'Essais Physiques de cette Société.

Ces travaux qui sont déjà fort avancés, avaient fait l'objet d'une première note à Bellagio en 1927, et ont donné lieu à une nouvelle communication cette année.

Nous devons citer, en dehors des rapports sur la photométrie hétérochrome de M. FABRY et sur les projecteurs d'automobiles de M. BOSSU, la contribution apportée par les ingénieurs de la Société du Gaz de Paris, au Comité de l'Eclairage des Rues ; le rapport de M. GOUFFE sur le calcul de l'Eclairage moyen des Voies Publiques et des espaces découverts ; et la réponse présentée par M. LAURAIN au

questionnaire très complet du Comité Secrétariat allemand, auquel seul le comité français avait répondu.

M. COHU avait envoyé un rapport sur les essais subventionnés par la Société pour le Développement de l'Eclairage, qui sont effectués actuellement au Conservatoire des Arts et Métiers, dans le laboratoire du Docteur Pottevin, sous la direction du Docteur FAILLIE, en vue d'établir les relations entre l'éclairage et la capacité de production et la fatigue de l'ouvrier manuel.

Nous citerons encore les rapports de M. DESARGES et WETZEL, sur la classification des appareils d'éclairage, en fonction de la distribution du flux.

Enfin, dans une réunion générale, il fut donné lecture d'une communication de M. WETZEL sur les applications des principes de l'éclairage rationnel aux luminaires artistiques, et M. CELLERIER présenta ses travaux sur « Applications scientifiques du rayonnement de la lumière, l'étude des peintures, des musées, et des collections ». Cette communication, illustrée par de nombreuses projections représentant des exemples d'études de tableaux du Musée du Louvre, remporta un vif succès.

M. CELLERIER, eut d'ailleurs l'occasion de la renouveler, peu après, à l'Université d'Harvard.

EMPLOI DES MACHINES FRIGORIFIQUES ET DES GAZ A HAUTE PRESSION DANS LES CENTRALES ÉLECTRIQUES ET LES POSTES DE TRANSFORMATEURS

Par M. NEU,
Ingénieur Conseil.

Vous êtes accoutumés à entendre ici des communications donnant le compte rendu d'installations industrielles ou d'études techniques ou scientifiques poussées à fond. Je vous demande aujourd'hui la permission de déroger à cette habitude en vous présentant au contraire des considérations sur des procédés, qui, je le crois du moins, n'ont pas encore été appliqués, bien qu'ayant fait l'objet de différentes études, notamment de MM. Bunet et Follain. Ce dernier a présenté, dans la *Revue générale du froid* de mars 1920, un ensemble schématique d'une telle installation.

Je me permets de penser que cette communication pourra provoquer des recherches et des essais susceptibles de donner d'intéressants résultats techniques et industriels.

Les questions que je me propose de vous soumettre sont les applications au matériel électrique des machines frigorifiques industrielles et des gaz à pression élevée.

Lorsque j'ai débuté dans l'industrie électrique, il y a 42 ans, les puissances et les tensions employées étaient des plus modestes. Nous saluions respectueusement les dynamos dites de 1000 lampes, à l'élaboration desquelles avait présidé M. Picou, et un voltage d'un millier de volts était chose inquiétante.

A cette époque l'air atmosphérique était à la fois un diélectrique et un agent de refroidissement largement suffisant pour tout matériel électrique : dynamos, moteurs, transformateurs, interrupteurs, etc...

Ce fut seulement notablement plus tard que l'accroissement des puissances et des tensions rendit l'air atmosphérique insuffisant pour remplir ce double rôle de diélectrique et d'agent de refroidissement,

(1) Communication présentée par M. Neu à la séance de la 1^{re} section, du 14 mars 1920.

que commença l'emploi de l'huile tant dans les interrupteurs haute tension que dans les transformateurs et qu'on adopta l'emploi de l'air à circulation forcée pour les génératrices et moteurs de grande puissance.

Quand on convertit de la chaleur en travail on s'efforce d'éviter le plus possible les déperditions de calories ; au contraire quand on convertit du travail en électricité, de l'électricité en travail, ou qu'on transforme du courant électrique, on cherche à évacuer le mieux possible les calories parasites qui se développent, car c'est l'échauffement des appareils qui, en majeure partie, limite leur puissance et compromet leur conservation. La température doit être tenue assez raisonnable pour éviter la destruction des isolements.

Cette température est déterminée par les conditions d'évacuation des calories qui se produisent dans le fonctionnement même des appareils.

L'évacuation des calories est obtenue par des circulations d'air atmosphérique ou d'eau à la température ambiante. Si au contraire on avait recours aux basses températures faciles à obtenir de façon courante par les machines frigorifiques industrielles on pourrait, toutes choses égales d'ailleurs, augmenter la quantité de calories évacuées, tout en abaissant la température du matériel électrique, c'est-à-dire augmenter sa puissance d'utilisation tout en améliorant grandement sa sécurité de fonctionnement et sa longévité.

L'A. E. G. a établi des dispositifs spéciaux de soufflage d'air qui lui ont permis d'atteindre pour des transformateurs une majoration de puissance de 50 0/0 ; une étude sur cette question a été publiée dans le bulletin de septembre 1928 de l'A. E. G. par l'Ingénieur Gewecke.

Voyons, par exemple, ce qui se passe dans un transformateur à bain d'huile à refroidissement naturel ou par circulation d'eau.

On admet généralement en pleine charge un échauffement de l'huile au-dessus de l'ambiante de quelque 50° C ce qui amène le cuivre des enroulements à un échauffement de quelque 80° C. soit à une température de quelque 100° C.

Si on vient à refroidir l'huile avec une machine frigorifique jusqu'à — 10° C par exemple, on pourra, tout en maintenant le cuivre à seulement quelques degrés au-dessus de 0° C, augmenter très notablement la puissance du transformateur tout en accroissant très largement sa sécurité de fonctionnement et la durée des enroulements dont les isolants se conserveront en parfait état dans l'huile fraîche. Bien

entendu, l'emploi d'une machine frigorifique ne peut se justifier que pour des installations importantes où la même machine pourra être utilisée pour plusieurs appareils.

On peut se demander si le travail à fournir à la machine frigorifique ne sera pas prohibitif.

Voyons les chiffres.

Soit un transformateur ayant en pleine charge, avec un cos de 0,8 un rendement de 97,6 0/0, soit une perte de 2,4 0/0 : cette perte étant répartie par exemple en 1,6 0/0 dans le cuivre et 0,8 0/0 dans le fer, donc par kW de puissance du transformateur il se produira environ $24 \times 0,864 = 21$ calories dont 14 dans le cuivre et 7 dans le fer.

Si le cuivre a un coefficient de variation de résistivité avec la température de 0,0043 et si l'emploi de la machine frigorifique le maintient à une température inférieure de 80° C à celle d'un transformateur usuel, la résistance des enroulements diminuera dans le rapport de $1 + 0,0043 \times 80$ à 1 soit 1,345 à 1, les calories se développant dans le cuivre deviendront : 14 : 1,345 soit 10 calories; les calories dissipées dans le fer ne variant pas sensiblement, il en résultera que les calories produites par kWh deviendront : $10 + 7 = 17$.

Or une bonne machine frigorifique peut produire 3000 frigories par heure et par cheval, soit une consommation de 900 Wh, c'est-à-dire dépenser environ 0,3 Wh par frigorie.

Soit pour les 17 frigories ci dessus $0,3 \text{ Wh} \times 17 = 5,1 \text{ Wh}$.

D'autre part, le rendement du transformateur sera amélioré du fait de la diminution de la résistance des enroulements. Donc si on n'augmente pas sa puissance de fonctionnement, on aura néanmoins une économie par kW de puissance de $21 - 17 = 4$ calories, soit $4 : 0,864 = 4,6 \text{ Wh}$.

La machine frigorifique causera donc une dépense nette de :

$$5,1 - 4,6 = 0,5 \text{ Wh}$$

soit par heure 1/2 millième de la puissance. C'est donc là une quantité négligeable.

Dans les turbo-alternateurs on fait le refroidissement par circulation d'air forcée par un ventilateur, soit en prenant de l'air ambiant filtré, soit mieux avec de l'air en circuit fermé venant se refroidir sur un réfrigérant à circulation d'eau.

En Amérique, on a ces derniers temps, employé une circulation de gaz hydrogène qui est un meilleur agent refroidisseur que l'air, mais qui est d'un maniement délicat et dangereux.

On pourrait donc avantageusement refroidir énergiquement l'air de circulation en employant une machine frigorifique. Cela permettrait d'accroître très notablement la puissance de l'alternateur tout en augmentant sa sécurité de fonctionnement et la longévité de ses isolements et cela sans nuire au rendement global de l'installation. On pourrait ainsi profiter de la grande capacité de surcharge des turbines à vapeur par admission supplémentaire de vapeur vive au cours de la détente.

Une centrale comportant une installation frigorifique pourrait l'utiliser avantageusement en été pour fabrication de glace ou pour les services d'entrepôts frigorifiques voisins, car en été la charge de la centrale étant moindre qu'en hiver, l'utilisation du froid artificiel pour le matériel électrique n'est pas nécessaire.

L'huile est employée couramment dans les interrupteurs haute tension et dans les transformateurs et cet emploi n'est pas sans créer de sérieuses difficultés et de gros dangers. En effet, l'huile est essentiellement combustible et facilement inflammable et dans de grandes centrales comportant d'importants postes de transformateurs, c'est par centaines de tonnes qu'on peut chiffrer le poids de l'huile en service, tant dans les transformateurs que dans les disjoncteurs.

L'huile est hygroscopique et nécessite des précautions spéciales de manutention, de filtrage, de séchage; son coût d'achat est fort élevé.

Qu'il se produise un échauffement exagéré dans un enroulement baigné dans l'huile, cet enroulement se couvre de dépôts bitumineux et charbonneux en rendant la réparation très pénible.

Dans les disjoncteurs, l'huile donne lieu, lors de l'ouverture du circuit à des productions de gaz et par inertie à des coups de bélier violents provoquant parfois des ruptures des bacs, des explosions et des incendies; en outre, cette inertie gêne la rapidité d'écartement des pièces mobiles.

Vous avez tous, Messieurs, le souvenir de nombreux accidents causés par l'huile des transformateurs et des disjoncteurs.

On peut donc dire que si l'huile est un auxiliaire bien utile à l'électricien, cet auxiliaire est coûteux, dangereux et d'un emploi souvent bien désagréable.

Peut-on envisager la possibilité de sa suppression?

J'ose croire que oui.

En effet, la supériorité de l'huile sur l'air à la pression atmosphérique est sa plus grande rigidité diélectrique et sa plus grande capacité et conductibilité calorifique.

Cette supériorité est manifeste par rapport à l'air à la pression atmo-

sphérique, mais elle va en diminuant jusqu'à devenir négative si on augmente suffisamment la pression de l'air.

Si on se reporte aux travaux de divers expérimentateurs, et notamment aux recherches de PASCHEN, de CASSUTO, STANCESCU, on peut constater, que, toutes choses égales d'ailleurs, la rigidité diélectrique des gaz est telle que le potentiel explosif dans un gaz à 6 à 7 kg de pression est sensiblement le même que dans la meilleure qualité d'huile pour transformateurs.

Pour ce qui est de la conductibilité calorifique c'est à peu près du même ordre de grandeur, mais il est difficile de préciser, car si on manque déjà de certitude dans la détermination de la conductibilité calorifique des liquides à cause de leur mobilité, cette incertitude est encore plus grande pour les gaz qui sont encore plus mobiles, mais il est certain, et la marche des appareils industriels de surchauffage d'air comprimé et de vapeur le démontre, que la conductibilité calorifique des gaz varie rapidement en fonction de leur pression. Il est donc permis de présenter la proposition suivante qui vous paraîtra peut-être bien hardie :

« Remplacer dans les transformateurs et disjoncteurs le bain d'huile « par une atmosphère gazeuse sous une pression de quelques kgs »

Cette atmosphère gazeuse ayant les mêmes propriétés diélectriques et calorifiques que l'huile ou même des propriétés supérieures, et cela sans en présenter les inconvénients.

Comme gaz à employer on peut envisager, par exemple, l'air, l'azote, l'acide carbonique, ces deux derniers gaz ayant en plus l'avantage de n'être pas comburant.

L'acide carbonique est maintenant un produit très répandu dans le commerce, sous forme de liquide contenu dans des bouteilles de fer, qui sont d'un usage courant dans tous les cafés débitant de la bière et soucieux d'offrir à leur clientèle des bocks bien tirés.

On peut imaginer, même pour des postes de transformateurs isolés de moyenne importance, que le poste comportera à côté du transformateur une bouteille d'acide carbonique munie d'un détendeur maintenant une pression de quelques kgs malgré les quelques légères fuites.

On peut compléter l'installation par un dispositif de disjonction entrant en action en cas de chute excessive de la pression. La construction de cuves de transformateurs pouvant convenir à une pression de 8 kgs et munies d'un faisceau de tubes extérieurs pour rafraîchissement ne serait pas sensiblement plus coûteuse que celle des cuves à huile avec faisceau de tuyaux verticaux de circulation d'huile, adoptées par

divers constructeurs. La circulation dans ces tuyaux du gaz comprimé s'y ferait beaucoup plus facilement que celle de l'huile car le coefficient de dilatation du gaz est beaucoup plus grand que celui de l'huile.

Pour les disjoncteurs il n'y aurait non plus aucune difficulté à avoir des cuves étanches résistant à la pression de quelques kgs d'une atmosphère gazeuse. Dans sa communication du 3 novembre dernier, M. DELAY a indiqué pour le travail de rupture de disjoncteurs des chiffres se tenant au-dessous de 60 kW seconde. Examinons l'échauffement que ce travail donnerait à l'atmosphère gazeuse sous pression d'un disjoncteur ; en supposant, par exemple, que cette cuve ait 100 litres de capacité et contienne de l'air à 6 kgs de pression, le poids de cet air sera d'environ 0 kg 750 ; les 60 kW seconde représentent environ :

$$\frac{60 \times 864}{3600} = 14 \text{ calories,}$$

soit, en prenant pour la chaleur spécifique à volume constant 0,168, une élévation de température instantanée de :

$$\frac{14}{0,750 \times 0,168} = 110^{\circ}$$

ce qui donne une pression de :

$$\frac{6 \times (288 + 110)}{288} = 8 \text{ kgs}$$

S'il s'agit d'un poste important ou d'une centrale justifiant l'emploi d'une machine frigorifique, et si on utilise dans cette machine comme agent frigorifique un gaz tel que l'air ou l'acide carbonique, on pourra alors utiliser le gaz froid détendu pour circuler dans les cuves des transformateurs en y jouant le double rôle d'isolant et de réfrigérant. De même pour le refroidissement des génératrices ou réceptrices.

Il y a lieu de remarquer, en outre, que la disponibilité dans une centrale de gaz sous pression, permettrait très avantageusement de réaliser les manœuvres à distance des disjoncteurs d'un façon beaucoup plus simple et beaucoup plus sûre que par des électros ou par de petits moteurs électriques.

L'emploi d'une atmosphère gazeuse sous pression de quelques kgs dans les disjoncteurs paraît une solution méritant d'être expérimentée car elle est intéressante au point de vue de la sécurité, tout en permettant des fonctionnements rapides et donnant une rigidité diélectrique entre les électrodes, au moins aussi grande qu'avec l'huile.

En résumé, je me permets de préconiser les diverses solutions suivantes :

1° Sans rien modifier aux dispositifs généraux d'installation des transformateurs et génératrices, refroidir énergiquement leur bain d'huile ou leur circulation d'air par l'emploi de machines frigorifiques et accroître ainsi grandement leur sécurité et leur possibilité de surcharge.

2° Dans les transformateurs, remplacer le bain d'huile par une atmosphère gazeuse sous pression, cette atmosphère étant refroidie, soit par les moyens usuels de circulation avec des faisceaux tubulaires placés à l'air atmosphérique ou dans de l'eau courante, soit avec utilisation de machines frigorifiques et, en ce cas, emploi éventuel du fluide frigorifique dans la cuve même du transformateur.

3° Remplacement dans les disjoncteurs du bain d'huile par une atmosphère gazeuse sous pression.

J'espère vous avoir montré l'intérêt d'étudier ces procédés qui permettraient d'améliorer grandement, toutes choses égales d'ailleurs, la puissance et les conditions de fonctionnement du matériel électrique de grande puissance et à tension élevée ; génératrices, réceptrices, transformateurs disjoncteurs, cela sans nuire au rendement, sans dépenses exagérées et en permettant de supprimer l'épée de Damoclès qui est actuellement suspendue au-dessus de la tête des producteurs et distributeurs et usagers de l'électricité qui emploient des bains d'huile.

Ce sont là peut-être aujourd'hui de simples espérances, je me permets de souhaiter qu'elles puissent devenir des réalités.

Observations de M. Roth (1).

M. Roth signale que la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques a étudié dès 1919, le problème de la réfrigération des alternateurs par machine frigorifique. Une étude faite à cette époque sur un alternateur de 12 500 kVA comportait deux solutions. La première solution consistait à utiliser simultanément pour le refroidissement de l'air ; de l'eau de puits à 15° C et de la saumure à 10° C ; le prix de l'installation frigorifique correspondante atteignait déjà 75 pour 100 du prix du groupe turbo-alternateur, et son encombrement dépassait celui du turbo-groupe tout entier. La seconde solution consistait à refroidir l'air uniquement par la saumure ; cette dernière installation absorbait une puissance égale au tiers des pertes de l'alternateur, son coût était voisin de 90 pour 100 de celui du groupe, et la surface qu'elle occupait dépassait de 30 pour 100 celle utilisée par le groupe.

(1) Présentées à la séance de la 1^{re} Section du 12 Avril 1919

M. Roth indique d'autre part qu'il s'est informé de l'état actuel de la question en faisant établir un devis pour une machine frigorifique capable de refroidir l'air d'un alternateur de 12 500 kW. Cette machine absorberait 115 ch. et coûterait 500 000 fr. alors que le prix de l'alternateur est compris entre 700 et 800 000 francs.

M. Roth en conclut qu'il n'y a rien à gagner dans cet ordre d'idées.

Réponse de M. Neu aux observations de M. Roth.

Lors de la communication que j'ai eu l'avantage de présenter le 14 mars, M. Roth a bien voulu signaler qu'il avait autrefois examiné avec la Maison Sulzer l'application de machines frigorifiques au refroidissement des turbo-alternateurs et que cet examen l'avait amené à conclure que cette application était trop onéreuse en comparaison avec les résultats qu'elle permettait d'obtenir. Je me permets de faire appel du jugement prononcé par M. Roth, car j'ai demandé depuis notre dernière réunion des précisions à divers constructeurs de matériel électrique et de matériel frigorifique qui m'amènent à présenter les chiffres suivants :

Supposons pour fixer les idées qu'il s'agisse d'une centrale devant assurer une pointe de 125.000 kW. Cette centrale pourrait comporter, soit des alternateurs pouvant, en marche normale avec ventilation en circuit fermé et réfrigération par eau courante, assurer la puissance en question, soit au contraire des alternateurs qui, en marche normale et ventilation comme dit ci-dessus ne pourraient fournir que 100.000 kW.

Ces alternateurs seraient rendus capables de fournir 125.000 kW avec la même température d'enroulement que ci-dessus si l'air était refroidi à plus basse température que celle que peut donner un réfrigérant à eau courante, et cela par adjonction d'une installation frigorifique.

Comparons les dépenses de premier établissement et d'exploitation dans les deux cas délinis ci-dessus.

Le coût d'achat d'alternateurs seuls est de l'ordre de grandeur de 80 fr par kW et l'on peut porter ce chiffre à 100 fr pour tenir compte des bâtiments, fondations, etc.. Il en résultera que l'achat des alternateurs de la première solution, amènera une dépense de :

$$(125\,000 - 100\,000) \times 100 = 2\,500\,000 \text{ fr.}$$

plus élevée dans le premier cas que dans le second. Par contre, dans

le second, on devra payer l'installation frigorifique. Evaluons son importance en supposant que l'on se propose, dans les deux cas, que la température des alternateurs soit la même.

Un important constructeur électricien indique que la quantité de calories à évacuer par seconde en charge normale dans un gros turbo-alternateur est d'environ 8,5 calories par kW et que ce chiffre doit être porté à 11 pour une surcharge de 25 pour cent, c'est-à-dire pour 1 250 kW. La quantité d'air circulant par seconde étant de 1,2 m³, soit environ 1,41 kg, cela conduit donc en marche normale à un échauffement de l'air par passage dans l'alternateur de :

$$\frac{8,5}{1,42 \times 0,23} = 26^{\circ}\text{C}.$$

Un réfrigérant à eau courante avec de l'eau par exemple à 12°C, peut avec des dimensions raisonnables, ramener la température de l'air à 25°C, ce qui conduit finalement, en marche normale, à une température de sortie d'air de $26 + 25 = 51^{\circ}\text{C}$. Si on veut maintenir la même température du stator avec marche en surcharge de 25 pour cent et même poids d'air, il faudra abaisser la température d'entrée de cet air pour que son échauffement par passage à travers l'alternateur soit de :

$$26 \times \frac{11}{8,5} \quad \text{soit } 34^{\circ}\text{C}.$$

Si on admet, pour le stator, un échauffement maximum de 60°C soit, avec ambiante de 15°C, une température de 75°C, on a, avec la charge normale, une différence entre la température moyenne de l'air circulant dans l'alternateur et celle du stator de :

$$75 - \frac{25 + 51}{2} = 37^{\circ}\text{C}.$$

En surcharge, le rapport des calories étant, par rapport à celles de charge normale, de $\frac{11}{8,5} = 1,29$, en tenant compte des règles indiquées par MM. DULONG, PETIT, et PECLET pour l'enlèvement des calories par convection, indiquant que les quantités de chaleur enlevées sont fonction de la puissance 1,233 des différences de température, on en conclut que la température d'entrée de l'air en marche en surcharge devra être de 12°C.

Cet air sera refroidi de 16 à 25°C par le réfrigérant à eau courante. La machine frigorifique devra ensuite le ramener de 25 à 12°C. Elle aura donc à fournir pour les 125 000 kW envisagés :

$$13 \times 0,23 \times 1,41 \times 100$$

soit 422 frigories-seconde soit 1 520 000 frigories-heure.

Pour se tenir dans des dimensions de faisceaux réfrigérants raisonnables, ces frigories pourraient être produites aux environs de 0°C.

Étant donné la température de fonctionnement de la machine frigorifique nécessaire, on peut très avantageusement envisager l'emploi de machines à vapeur d'eau du type créé par M. Maurice LEBLANC, et grandement perfectionné par M. FOLLAIN.

De telles machines peuvent être établies, soit pour utiliser les condenseurs mêmes des turbo-groupes, soit avec des condenseurs et pompes spéciales.

Pour la quantité de calories envisagées ci-dessus, le coût de premier établissement de cette installation frigorifique serait de quelque 350 000 f. en utilisant les condenseurs des turbines ou de 550 000 fr. par condenseurs séparés.

Les consommations de vapeur respectives étant par frigorie de 0,005 kg et 0,0036 kg. Dans ce 2^e cas, il y aurait encore à prévoir en plus, 65 ch pour les pompes, ce qui amène la consommation totale de vapeur à 0,0038 kg, soit donc finalement, dans le premier cas une consommation d'environ 7 500 kg de vapeur horaire et dans le second cas de 6 000 kg.

On peut remarquer que, dans le premier cas, cette consommation est environ 1 pour cent de celle de la production du courant proprement dit. Il y a lieu de tenir compte que, dans les centrales thermiques, le coefficient annuel d'utilisation de la charge maximum, ne dépasse pas 2 500 et que la marche en charge de pointe atteint au maximum 300 heures par an.

Dans la centrale envisagée ci-dessus, l'emploi de l'installation frigorifique causera donc une dépense supplémentaire maximum d'environ $7\,500 \times 300 = 2\,250\,000$ kg de vapeur environ représentant une consommation de quelque 300 tonnes de charbon. Si on évalue ce charbon à 150 fr. la tonne, le fonctionnement de l'installation frigorifique causera donc une dépense annuelle de 45 000 fr.

Or, cette installation frigorifique permettra une économie de premier établissement de $2\,500\,000 - 350\,000 = 2\,150\,000$ f.

On peut donc dire que c'est là une opération avantageuse.

Si on envisage l'emploi de condenseurs indépendants pour la machine frigorifique, la dépense de vapeur se réduit à 30 000 fr. correspondant à une économie de premier établissement de 1 950 000 fr.

Pour des installations de transformateurs, l'emploi de procédés analogues donne des résultats comparables car, d'un côté les calories à dissiper par kilowatt de puissance sont à peu près la moitié de celles

d'un alternateur mais, par contre, les prix de premier établissement par kilowatt sont à peu près également la moitié pour un transformateur que pour un alternateur, de sorte que les résultats qu'on peut attendre de l'emploi de machines frigorifiques seraient du même ordre de grandeur que ci-dessus.

De plus, on peut certainement sans inconvénient envisager des surcharges beaucoup plus importantes que celle 25 pour cent supposée dans les exemples ci-dessus.

En outre, on peut remarquer que, dans de telles installations, on pourrait refroidir à 12°C l'air de circulation des turbo-alternateurs en circuit déjà fermé refroidi à 25°C par le réfrigérant à eau courante sans recourir à l'emploi d'un second faisceau tubulaire.

On ferait passer l'air sortant du réfrigérant à eau courante dans une chambre où serait pulvérisée de l'eau refroidie à quelque 5°C par la machine frigorifique.

Il n'y aurait point d'inconvénient à redouter au point de vue de l'humidité de l'air ainsi refroidi par eau pulvérisée car, par exemple de l'air saturé à la température de 12°C, contient sensiblement le même poids de vapeur d'eau par mètre cube que de l'air à 25°C avec un degré hygrométrique de 60 pour cent on serait bien certain de ne pas avoir de rosée dans l'alternateur.

TRAVAUX DES SECTIONS

5^e SECTION

TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. — TRANSMISSION PAR ONDES

Président : M. REYNAUD-BONIN.

SÉANCE DU 15 FÉVRIER 1929. — I. — M. CHAUCHAT présente au nom de M. M. LEBLANC la communication que ce dernier a présenté sur le *Rectorx* à la séance de la 3^e Section du 19 janvier (Bulletin de février 1929).

II. — M. CHAVASSE fait un exposé des *Etudes faites sur les transformateurs téléphoniques au Service d'études et de recherches techniques des P. T. T.* (1).

Il examine d'abord deux circonstances principales dans lesquelles les téléphonistes et télégraphistes sont conduits à utiliser des transformateurs.

a) Transformateurs de discordance pour l'alimentation des microphones des postes téléphoniques;

b) Transformateurs d'appropriation et de combinaison permettant de superposer une communication télégraphique à une communication téléphonique, ou une transmission téléphonique à l'ensemble de deux autres transmissions téléphoniques. En vue de satisfaire aux exigences de la technique, ces appareils doivent répondre à diverses conditions : il est indispensable en particulier, que leur rendement soit convenable, aussi bien pour les courants de fréquence téléphonique que les courants de basse fréquence (courants de signalisation). Le rendement qui est à considérer d'ailleurs, n'est pas le rendement énergétique qui n'intéresse pas directement le téléphone, mais bien le rendement en volt-ampères qui donne une idée très correcte des propriétés transmissives de l'appareil. L'auteur qui a étudié divers transformateurs sous le rapport des rendements énergétiques et en voltampères, montre comment ces rendements sont influencés par les conditions de terminaison secondaire et de tension primaire. La seconde catégorie

(1) Cette communication paraîtra in-extenso dans un Bulletin ultérieur.

essentielle de clauses à formuler concernant les transformateurs de combinaison et d'appropriation, se rapporte au déséquilibre et à la diaphonie. L'auteur indique schématiquement comment il est possible de s'assurer que ces clauses sont satisfaites et comment par des mesures de diaphonie proprement dites et par la détermination des divers déséquilibres, on peut être certain qu'aucune réaction appréciable, entre les circuits combinant et appropriés ou combinés, ne sera imputable au transformateur proprement dit.

III. — Programme de la semaine d'octobre 1929.

Evolution des procédés de fourniture du courant dans les centraux téléphoniques	M. SALOMON
Sur les métaux à grande perméabilité, genre permalloy, utilisés dans les transmissions téléphoniques	M. CHAUCHAT
Description des postes émetteurs et récepteurs utilisés pour la liaison téléphonique Paris-Buenos-Aires	MM. CHIREIX. et VILLEM
Transmissions simultanées et secrètes de deux communications radio-téléphoniques sur un même émetteur	M. FAYARD
Sur les ondes de 0,15 m	M. BEAUVAIS
Protection de la correction dans les liaisons Radiotélégraphiques Baudot-Verdan	M. BONNIN
Contribution à l'étude du filtrage des courants redressés	M. DEMONTVIGNIER

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ.

- **La Construction économique de la machine électrique** par MILAN VIDMAR, éditeur, Dunod 47-49, Quai des Grands Augustins, Paris, 6^e. Un volume 25^{cm} × 16^{cm}, de 123 pages. (Don de l'Editeur sur la demande de M. le Bibliothécaire. Prix : 25 fr.).

RECHERCHES PHYSIQUES.

- **Approximations dans les Mesures Physiques et dans les calculs numériques qui s'y rattachent** par COLARDEAU E. Edité par Vuibert, 63, Boulevard Saint-Germain à Paris. Un volume 23^{cm} × 14^{cm}, de 382 pages ; broché. (Don de l'Editeur Prix : 20 fr.).
- **Système M. T. S. obligatoire depuis le 5 Août 1920** par FRÉCAUT J. Edité par Vuibert, 63, Boulevard Saint-Germain à Paris. Un volume broché de 19^{cm} × 12^{cm}, de 74 pages (Don de l'Editeur. Prix : 7 fr. 50).
- **Comment aborder le problème de la Matière ?** par R. FERRIER. Edité par Albert Blanchard, 3 et 3^{bis}, place de la Sorbonne à Paris ; brochure 21^{cm} × 13^{cm}, de 16 pages. (Don de l'Editeur Prix : 1 fr.).
- **Ondes et mouvements** par L. de BROGLIE. Edité par Gauthiers-Villars et C^{ie}, 55, Quai des Grands-Augustins à Paris. Un volume broché 25^{cm} × 16^{cm}, de 133 pages. (Don de l'Editeur).
- **Leçons sur la Conductibilité des Electrolytes** par E. DARMOIS. Editeur Vuibert, 63, Boulevard Saint-Germain à Paris. Un volume 25^{cm} × 16^{cm}, de 142 pages broché. (Don de l'Editeur).

CONGRÈS. — STATISTIQUES. — ACTES OFFICIELS. — ANNUAIRES.

- **L'Industrie de l'Acier en France** par J. TRIBOT-LASPIÈRE. Editeur Vuibert, 63, Boulevard Saint-Germain à Paris. Un volume de 25^{cm} × 16^{cm}, de 366 pages ; broché. (Don de l'Editeur Prix : 16 fr.).
- **La Corporation de l'Acier aux États-Unis** par ARUNDEL COTTER. Edité par Vuibert, 63, Boulevard Saint-Germain à Paris. Un volume de 23^{cm} × 14^{cm}, de 245 pages ; broché. (Don de l'Editeur).

FORMULAIRES. — AIDE MÉMOIRE. — MANUEL.

- **Comment on devient fraiseur** par CHAMPLY René. Edité par Desforges-Girardot et C^{ie}, 27 et 29, Quai des Grands-Augustins à Paris. Un volume broché de 22^{cm} × 13^{cm}, de 269 pages. (Don de l'Editeur. Prix : 25 fr.).

ENSEIGNEMENT.

- **Cours d'Électricité Industrielle** par DEFRETIN A., Ingénieur en chef du Service électrique à l'Association des Industriels du Nord de la France, Editeur Hermann et C^{ie}, 6, rue de la Sorbonne à Paris. Un volume 25^{cm} × 16^{cm}, de 582 pages. Préface de M. P. JANET, membre de l'Institut. (Don de l'auteur. Prix : 95 fr.).
 - **Leçons de Chimie Physique** par P. Maurice VÈZES. Edité par Vuibert, 63, Boulevard Saint-Germain à Paris. Un volume 25^{cm} × 16^{cm}, de 545 pages; broché. (Don de l'Editeur. Prix : 50 fr.).
 - **Cours de Physique** par J. LEMOINE et J. GUYOT Editeur Vuibert, 63, Boulevard Saint-Germain à Paris. Quatre volumes de 25^{cm} × 16^{cm}, de: 1^o 384 pages; 2^o 226 pages; 3^o 362 pages; 4^o 200 pages; brochés. (Don de l'Editeur. Prix : 40 fr., 24 fr., 38 fr., 18 fr.).
 - **Problèmes de Physique et de Chimie** par RIVIÈRE J.-Ch. Editeur Vuibert, 63, Boulevard Saint-Germain à Paris. Un volume de 23^{cm} × 14^{cm}, de 296 pages; broché. (Don de l'Editeur. Prix : 22 fr.).
-

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Intrebuintarea pacurei ca combustibi la C. F. R., par Aurel Lanesco
Ingénieur la caile ferate romane conferentiar la Scoala politecnica din Bucunesti,
fascicule n° 15, 32 pages, 38 figures, et huit planches hors texte. Institut
National Roumain pour l'étude de l'aménagement et de l'utilisation des
sources d'énergie. Bucarest 1928.

Ce fascicule est consacré à l'étude de l'emploi du goudron comme combustible
pour les chauffages industriels et pour le chauffage des locomotives.

L'auteur décrit un certain nombre de pulvérisateurs système Urguhardt, Holden,
Th. Dragu, Cosmovici. Le chauffage mixte dans lequel on emploie les liquides très
abondants en Roumanie, est également étudié dans cet ouvrage.

**Quelques considérations générales sur l'utilisation rationnelle des
lignite de Roumanie**, par I. Buzoiu, Ingénieur des mines ; directeur
général des charbonnages de Pétrosani, fascicule n° 16, 26 pages. 4 tableaux,
3 cartes hors texte. Institut national Roumain pour l'étude de l'aménagement
et de l'utilisation des sources d'énergie, Bucarest 1928.

La Roumanie possédant des pétroles, des mazouts, des gaz naturels, du bois en
abondance et des forces hydrauliques relativement importantes, le problème de l'uti-
lisation rationnelle des lignites de Roumanie ne doit être envisagé que dans ses rap-
ports avec l'utilisation de ces combustibles, qui constituent l'ensemble des ressources
d'énergie du pays.

Ce ne sont pas seulement des considérations purement techniques qui doivent
intervenir dans la question, mais plutôt des éléments d'ordre général économique et
financier.

C'est dans cet esprit que l'auteur traite la question de l'utilisation des lignites de
Roumanie. Les cartes qui sont annexées à l'ouvrage, permettent de se rendre compte
de la position relative et de l'importance des diverses sources d'énergie, et, par suite,
de justifier les vues particulières de l'auteur.

Problème de la canalisation du secteur des cataractes du Bas-Danube
(*1. Evolution récente des transports et la capacité de trafic de la voie navi-
gable*), par Grégoire C. Vasilescu, Ingénieur à la Société Roumaine
« Electrica », ancien Ingénieur adjoint à la Commission Européenne du
Danube, fascicule n° 14, 142 pages, 17 figures en photopies, de l'Institut
National Roumain, pour l'étude de l'aménagement et de l'utilisation des
sources d'énergie. Bucarest 1928.

L'auteur a fait une étude du secteur des cataractes du Bas-Danube, en vue de
dresser un projet d'aménagement de ce secteur au double point de vue de l'amé-
lioration des conditions de navigabilité, ainsi que de la captation de la puissance
hydraulique du fleuve.

Il s'est rendu compte tout d'abord du trafic, en ce qui concerne les voyageurs et les marchandises, tel qu'il existait récemment dans ce secteur particulier, puis, des conditions techniques dans lesquelles la navigation s'y exerce actuellement afin d'être en mesure d'entrevoir quelle peut être la capacité limite du trafic de la voie navigable actuelle.

L'ouvrage comprend un grand nombre de tableaux statistiques des vues très intéressantes des parties du fleuve où la navigation présente des difficultés ou des caractères particuliers, enfin une carte du cours du fleuve dans la partie étudiée.

Report on tabulating the results of Heat Eugène Trials with appendices. 1927. Obtained under authority By William Clowes and Sons Limited 94 Iermyn Street S. W. 1 London.

Ce compte rendu des résultats d'essais des appareils thermiques est présenté au Council of the Institution of Civil Engineers par the heat engine trials committee.

Les tableaux qui composent ce volume se rapportent aux chaudières à vapeur, aux moteurs à combustion interne et aux gazogènes, aux compresseurs et aux ventilateurs. Les appendices donnent des indications sur les procédés de mesure des différents éléments qui sont considérés dans cette partie de la technique.

ÉLECTROCHIMIE. ÉLECTROMÉTALLURGIE.

PILES. ACCUMULATEURS.

L'Énergie électrique de demain. — Le problème de la transformation directe de l'énergie chimique potentielle en énergie électrique. La pile au charbon, la pile à gaz et la pile aux hydrocarbures. Théorie et réalisation, par Aug. BERTHIER. Ingénieur civil, 1 vol. 25 × 17, broché, de 236 pages, 53 figures, 1929. Prix : 40 fr. Franco par la poste : France et Colonies, 42 fr. ; étranger. 44 fr. Editeurs : DESFORGES, GIRARDOT et C^{ie}, 27 et 29, Quai des Grands Augustins, Paris (6). Don des éditeurs.

Le monde moderne tend vers l'emploi universel de l'énergie électrique : lumière, chaleur, force motrice, locomotion sont tributaires de l'électricité. D'autre part, la théorie électronique enseigne que l'électricité est la substance fondamentale de la matière : les électrons sont, en effet, le tout de l'atome, ils « occupent » son volume ; malgré leurs faibles dimensions ils sont pleins d'énergie et de force et par leurs relations réciproques, ils constituent ce qu'on appelle l'atome de matière, ils lui donnent son inertie et lui communiquent la propriété de se fixer aux autres, atomes qui s'approchent à courte portée ; enfin, l'excès ou le défaut d'un ou de plusieurs électrons donnent naissance aux propriétés physiques.

L'énergie qu'il est possible de tirer de la matière constitue une source inépuisable que l'homme doit pouvoir utiliser, mais les moyens employés jusqu'ici pour tirer l'énergie de la matière et, en particulier, des combustibles ont donné des rendements relativement faibles ne dépassant guère 30 pour cent, parce qu'il n'a pas été possible d'opérer directement cette transformation.

Cependant les Savants les plus qualifiés : Oswald, Nernst, Schulze, Rosset, Baur, L. Poincaré, ont soutenu que rien ne s'oppose à ce que l'énergie chimique du charbon et de l'oxygène se transforme directement en énergie électrique.

L'auteur montre dans les deux premières parties de cet Ouvrage que, d'après la théorie et l'expérience, cette transformation directe de l'énergie chimique en énergie électrique n'est pas impossible et que l'une des solutions les plus élégantes et les plus pratiques, est donnée par les combinaisons dérivant de la pile de Volta. Il faut, en définitive, orienter des électrons, et pour cela, créer une différence de potentiel. Le Chimiste doit s'associer au Physicien pour résoudre ce problème. On ne peut songer à utiliser, pour le moment, les sources d'énergie emprisonnées dans les atomes sous forme d'énergie intra atomique, mais il semble que c'est en ayant recours aux nouvelles méthodes chimiques notamment aux réactions et aux combustions catalytiques que l'on aura le plus de chance de trouver la solution directe du problème.

L'Auteur signale les solutions qui peuvent être essayées; il indique dans quelles directions les recherches semblent devoir être entreprises ou continuées dans le cas des piles au charbon, des piles aux hydrocarbures liquides, des piles à gaz, des piles aux hydrocarbures gazeux à électrolyte liquide, à électrolyte fondu à électrolyte gazeux, enfin dans le cas des piles à composés organo-métalliques.

Spécialisé dans l'étude de ce problème depuis un quart de siècle, l'auteur était tout à fait qualifié pour exposer l'état de la question dans un ouvrage dont la bibliographie comprend de nombreuses références. Il fournit ainsi aux chercheurs une documentation précise et abondante qui leur épargne des recherches fastidieuses et des essais infructueux.

APPAREILLAGE. CANALISATIONS.

Les isolateurs en porcelaine, par le Professeur Docteur Gustave Benischke traduit sur la 2^e édition allemande, par J. Godin, ancien élève de l'École polytechnique, un volume in 4^o, 151 pages avec 165 figures dans le texte. Prix : relié 40 francs. 1928. Éditeur : Librairie polytechnique Ch. Béranger, Paris 15 rue des Saints-Pères. Liège, 1, quai de la Grande-Bretagne. *Don de l'éditeur.*

La sécurité des installations électriques est intimement liée à la qualité des isolateurs et tout spécialement aux propriétés des isolateurs en porcelaine. Il est donc nécessaire que les exploitants connaissent bien les propriétés électriques de la porcelaine, afin qu'ils ne soient pas tentés d'imposer aux céramistes des conditions d'éclairer matériellement irréalisables et l'auteur s'est imposé cette double tâche d'expliquer les fabricants d'isolateurs et les spécialistes de la haute tension. Il étudie, dans un premier chapitre, la constitution et la préparation de la pâte à porcelaine, son séchage sa cuisson et il résume le mécanisme de la propagation des décharges électriques à l'intérieur de ces isolants et la constitution qu'il faut donner à ce isolateur pour qu'il puisse supporter une tension déterminée, suivant que cette tension est contenue ou alternative.

Dans un second chapitre, il fait une étude raisonnée des différents types d'isolateurs en porcelaine fabriqués par des maisons allemandes et répondant aux diverses conditions de la pratique : isolateurs assemblés, isolateurs à plusieurs étages, isolateurs de suspension, isolateurs de traversées, enfin isolateurs pour installations intérieures. Ces isolateurs doivent satisfaire à des conditions mécaniques, et électriques leur forme extérieure doivent permettre d'éviter les décharges de contournement, soit par étincelles soit par arcs.

Le chapitre III se rapporte aux essais des isolateurs : essais de matière, essais d'aptitude, essais de fabrication et à l'étude des conditions que doit remplir un laboratoire d'essai d'isolateurs.

L'ouvrage contient des renseignements d'ordre pratique basés sur de nombreuses observations et il doit, pour cette raison, intéresser les techniciens spécialistes de la haute tension, les fabricants d'isolateurs et tous les ingénieurs électriciens.

LÉGISLATION.

Electricité. — Notions de droit et décisions de jurisprudence, par Augustin REMAURY, avocat à la Cour d'appel de Toulouse, professeur à l'Institut Electrotechnique de l'Université de Toulouse et Pierre TROLLEY de PRÉVAUX, Ingénieur, secrétaire général de la Société d'Electricité de Strasbourg. Un volume 12^{cm} × 18 de 408 pages. Éditeur : Librairie du Recueil Sirey (Société anonyme), 22, rue Soufflot, Paris, 5^e, 1929. *Don de l'éditeur.*

La Législation de l'Electricité, c'est-à-dire l'ensemble des lois, décrets et règlements administratifs relatifs à la Distribution de l'énergie électrique, intéresse non seulement les Concessionnaires de distribution et les Ingénieurs du Contrôle, chargés de veiller à l'exécution des règlements en vigueur, mais aussi tous ceux qui emploient l'énergie électrique.

Il est donc nécessaire que tous aient une connaissance complète de la législation qui définit leurs droits comme leurs obligations réciproques ainsi que leurs engagements à l'égard de l'autorité concédante.

L'ouvrage présenté par MM. Remaury et Trolley de Prevaux, répond à toutes conditions : rigoureusement au courant des derniers textes législatifs promulgués avant l'impression, rédigée par un spécialiste des études juridiques relatives à l'Électricité, la « doctrine » et la « jurisprudence » qui y sont exposées se réfèrent aux publications les plus documentées ainsi qu'en témoigne la bibliographie, ou reposent sur des jugements et arrêts non publiés, mais faciles à consulter.

La première partie de l'ouvrage qui intéresse les Industriels, se subdivise en deux titres : relations du Droit public ; relations du Droit privé et réserve des droits des tiers.

La deuxième partie concerne l'exploitation concernant les droits et les obligations des permissionnaires et des concessionnaires, les tarifs et les conditions du service, les polices et contrats, les questions de compétence.

Une troisième partie est consacrée à la Législation spéciale de l'Alsace et de la Lorraine et au Droit international privé.

Houille Blanche. Notions de droit et décisions de jurisprudence, par M. Augustin REMAURY, avocat à la Cour d'Appel de Toulouse, Professeur à l'Institut Electrotechnique de l'Université de Toulouse. Préface de M. André Hauriou, professeur à la Faculté de Droit de l'Université de Toulouse. 1 volume 12^m × 18, de 381 pages. Editeur : Librairie du Recueil Sirey (Société anonyme), 22, rue Soufflot. Paris V^e, 1929. *Don de l'Editeur.*

Cet ouvrage complète de façon très heureux celui qu'a déjà publié l'Auteur sur les distributions électriques ; il embrasse la question des installations hydro-électriques dans toute son ampleur et l'envisage au point de vue juridique. En deux parties sont commentés les textes relatifs à l'utilisation générale des eaux et ceux qui traitent de l'énergie hydraulique ; c'est-à-dire la loi du 8 avril 1898 et celle du 16 octobre 1919.

La division des matières faite de façon claire et logique, permet au lecteur de trouver facilement les questions qui l'intéressent.

L'ouvrage est complété par une édition des textes commentés et des tables, il est indispensable aux Industriels, aux Exploitants, installations hydro-électriques, aux Administrateurs de Sociétés, aux Juristes et à tous ceux qui s'intéressent à la Houille-Blanche et à ses applications industrielles.

ANNUAIRES

Siemens Jahrbuch 1928. Herausgegeben von der Siemens des Halske A.G., und der Siemens-Schuckert Werke A.G.V.D.I., Verlag G.M.B.M., Berlin N.W.7. Un volume 16^{cm} × 21 de 504 pages, illustré et orné du portrait de von Siemens. *Don de l'éditeur.*

L'annuaire Siemens 1928, édité pour commémorer le 25^e anniversaire de l'union de la Société Siemens et Halske et de la Société des Usines Siemens-Schuckert, est consacrée au panégyrique de ce puissant Consortium.

Cet ouvrage richement édité et illustré de très nombreuses et très belles photographies comprend trente-huit monographies formant pareil nombre de chapitres se rapportant au développement des Usines et des Etablissements Siemens dans le monde entier, à un certain nombre de grandes installations se rattachent à toutes les branches de l'industrie électrique et électro-mécanique, à l'organisation des fabrications des machines et des appareils électriques, des appareils et des câbles téléphoniques. Des chapitres spéciaux sont consacrés à la construction des moteurs d'aviation, à l'électrochimie, à l'électrometallurgie, à l'organisation des laboratoires d'essais.

Les Ingénieurs et les Industriels consulteront avec intérêt ce bel annuaire dans lequel ils trouveront des descriptions de toutes les spécialités de matériel électrique et mécanique que construisent les Etablissements Siemens-Schuckert.

RECHERCHES PHYSIQUES

Le Magnétisme, par MM. Pierre Weiss, Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg, correspondant de l'Institut et Gabriel Foxé, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Strasbourg. Un volume in-16, 69 figures. Collection Armand Colin, 103, Boulevard Saint-Michel, Paris. Prix : relié, 10 fr. 25 ; broché, 9 fr. *Don de l'éditeur.*

Le Magnétisme a participé, comme la plupart des branches de la Physique, à l'évolution qui tend à mettre cette science jadis purement descriptive, en harmonie avec les idées actuelles sur la constitution de l'atome.

Ces tentatives, d'un puissant intérêt, étaient dispersées dans des périodiques ou dans des thèses d'un accès difficile. Les auteurs, qui ont pris l'un et l'autre une part prépondérante au développement de cette partie de la Physique, ont entrepris de réunir ces matériaux épars, d'en faire un tout bien coordonné et d'exposer les théories actuelles du magnétisme d'une façon claire et précise, en réduisant les développements mathématiques au strict indispensable.

Les divers chapitres de l'ouvrage sont :

Définitions et lois fondamentales. Le diamagnétisme.

Le Paramagnétisme. Gaz parfaits et solutions étendues.

Les Paramagnétiques à champ moléculaire. Le ferromagnétisme.

Théorie du ferromagnétisme. Etude détaillée de la couche d'aimantation.

Le Ferromagnétisme des cristaux. Propriétés énergétiques des ferromagnétiques. Sur le mécanisme de l'aimantation et de l'hystérésis et le phénomène de Barkhausen. La nature du champ moléculaire. Les moments atomiques. Moments atomiques et système périodique. Equation d'état magnétique et variation du moment atomique. Expérience de Gerlach et Stern. Bibliographie.

Cet excellent ouvrage est appelé à rendre les plus grands services aux étudiants et aux ingénieurs.

DIVERS

Le Professeur d'avenir, par Philippe GIRARDET, un volume 13^{cm} × 18 de 203 pages, illustrée de dessins, letrines et culs de lampe de Jean-Saint-Paul, 1928. Prix : 12 fr. Editeurs : Berger-Levrault, 136, Boulevard Saint-Germain, Paris, 6^e. *Don de l'Auteur.*

Cet ouvrage assurément original est présenté dans sa préface comme édité en l'an 2278 par un des descendants de l'Auteur.

Placide, professeur d'avenir, cherche à pénétrer le secret des destinées des sociétés, d'après l'évolution qui s'est opérée dans tous les domaines au cours des siècles passés.

Il semble toutefois fixer le terme de ses prophéties à quelques décades seulement de l'an 1928 ; aussi, le descendant de M. Philippe Girardet a-t-il une pensée de commisération presque ironique pour son ancêtre qui, écrivant au lendemain de la terrible secousse de la guerre des nations, n'avait pas su prévoir qu'à la fin du ^{XXI}^e siècle quelques sujets, pourraient en se désincarnant s'évader du monde à trois dimensions, pour explorer celui de la quatrième.

En dix chapitres, Placide fait parcourir au lecteur le monde industriel futur, celui de la pensée ; il l'introduit dans la famille au théâtre, au cinéma, dans les manifestations mondaines ; dans les coulisses du gouvernement et de la politique. Et il conclut : « Nous savons bien critiquer le présent, nous croyons, dans notre présomption pouvoir en déduire ce que nous serons demain, mais notre vue est bornée et nos sens imparfaits. »

Les Affaires et les Hommes. par Philippe GIRANDOT. Préface de Pierre Mille. Un volume 12^{cm} × 18 de 175 pages, 15 dessins de Jean-Saint-Paul. Prix : 10 fr. Editeurs : Berger-Levrault. 136, Boulevard Saint-Germain, Paris, 6°. *Don de l'Auteur.*

Ce livre, écrit avec humour sur un sujet technique, dans un style alerte et attrayant passionné comme un roman. Si les idées qu'il expose paraissent parfois paradoxales, elles sont souvent basées sur une profonde psychologie et méritent de sérieuses méditations.

L'auteur est, en effet, un véritable chef d'entreprise, auquel une longue expérience des affaires et des hommes a appris ce que doivent être l'homme d'affaires, le berger. Sa formation, ses qualités et celles de son troupeau.

Il ne craint pas d'affirmer, qu'entre une escroquerie et une affaire honnête, il n'y a parfois, qu'une différence dans les moyens employés, l'escroc est un homme d'affaires qui ne respecte pas les règles du jeu.

Il signale la diminution du nombre des ouvriers spécialisés remplacés par des manœuvres et l'augmentation inverse des dirigeants spécialisés.

Diriger une affaire, c'est diriger des hommes; il est essentiel de bien les connaître pour les bien choisir, l'allure générale, la voix, la façon de s'exprimer, le regard, les gestes, les locutions familières, l'écriture, sont autant d'indices qu'il faut noter.

L'auteur déplore que nos grandes écoles fournissent chaque année une pléiade d'ingénieurs, dont beaucoup sont des hommes de valeur, assez mal préparés pour le rôle de chefs d'industrie. Nous sommes riches en techniciens, mais pauvres en administrateurs.

Nos dirigeants comprendront-ils, un jour, que l'avenir du Pays est entre les mains des chefs d'industrie et qu'il faut créer une école où on préparerait à ce rôle des unités de valeur judicieusement sélectionnées.

Le dernier chapitre est consacré aux grands hommes d'affaires, à ceux d'autrefois : Salomon, Saint Paul « qui a fait le commerce mondial des âmes » Jacques Cœur, Colbert, Law, Napoléon : à ceux d'aujourd'hui : Rockefeller, Ford, Carnegie.

L'ouvrage caractérise une époque : celle des monarques de l'Industrie et du Commerce; il intéresse par l'ampleur de ses vues, et même par la hardiesse de ses critiques, il séduit par la haute philosophie qui s'en dégage et par le charme de son style et la valeur artistique de ses illustrations. Le lecteur saura l'apprécier.

IL Y A 30 ANS

Réunion ordinaire mensuelle du mercredi 3 mai 1899.

Présidence de M. J. VIOLLE.

M. J. VIOLLE, Président entrant, prononce l'allocution d'usage.

M. Jacques GUILLAUME fait le compte rendu d'un voyage d'études en Suisse des Elèves de l'Ecole supérieure d'électricité, dirigé par M. CHAUMAT, chef des travaux, assisté de MM. AUBERT et DUVAL et au cours duquel les Elèves de notre Ecole ont eu la satisfaction de se rencontrer avec une quarantaine d'élèves du Musée Royal Industriel de Turin, conduits par M. le Professeur LOMBARDI et faisant, eux aussi, un voyage d'études en Suisse.

Le bulletin de mai 1899 publie la communication faite en avril par M. E. HOSPITALIER, sur l'interrupteur de Wehnelt et ses applications et un index bibliographique mentionnant les articles et publications diverses, faits en France et à l'étranger sur cet appareil.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion ordinaire mensuelle du Mercredi 5 Juin 1929, p. 566.
Admission de Membres titulaires, p. 566.
Annonces diverses, p. 567.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

L'utilisation rationnelle du vent (M. NEU), p. 570. — La foudre et les lignes électriques (M. C. DAUZÈRE), p. 575. — Etude sur les projecteurs de lumière à miroir parabolique, principes applicables aux projecteurs d'automobiles (MM. J. DOUGNON et P. WAGUET), p. 599. — Dispositifs antiéblouissants applicables aux projecteurs d'automobiles à miroir parabolique de révolution (MM. J. DOUGNON et P. WAGUET), p. 616. — Eclairage des grandes surfaces par projecteurs (M. R. MASSING), p. 625. — Remise à l'heure des horloges et commandes à distances diverses par les lignes téléphoniques (M. LAVET), p. 69.

RAPPORTS ANNUELS DE LA 2^e SECTION (1^{re} partie) :

Les Luminaires (M. J. DOUGNON), p. 647. — Les méthodes de calcul dans la technique de l'éclairage (M. WETZEL), p. 650. — Projecteurs et phares, p. 653. — Tubes à néon à basse tension à cathode incandescente (M. Maurice LEBLANC), p. 655. — La législation de l'éclairage (M. PARTRIDGE), p. 657. — L'actinothérapie en 1928 (M. le Docteur SAIDMAN), p. 660.

TRAVAUX DES SECTIONS, p. 664.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 671.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 672.

IL Y A TRENTE ANS, p. 676.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Mercredi 5 Juin 1929

Présidence de M. BUNET.

La séance est ouverte à 21 heures.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

- Balaesco** (Etienne-Stefan), Élève à l'E. S. E., 15, place des Etats-Unis à Montrouge (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Bernadac** (Marcel-Louis), Ingénieur I. E. G. Directeur Succursale de Bordeaux de la Compagnie Lorraine de Charbons pour l'Electricité, 12, rue d'Aguesseau, Paris. — Domicile : 9 Cours du Chapeau-Rouge, Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. L. Rousseau et Raynaud.
- Bouchayer** (Hippolyte-Pierre), Industriel, 57, rue Pierre-Charron, Paris (8^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Boutellier** (Charles-Jean), Ingénieur à la Société Electricité et Gaz du Nord, 3, rue Victor-Hugo, à Jeumont (Nord). — Présenté par MM. Bernaud et Etienne.
- Dauzère** (Camille-Jean), Directeur de l'Institut et Observatoire de Physique du Globe du Pic du Midi, Bagnères-de-Bigorre (H. P.). — Présenté par MM. Delasalle et L. Rousseau.
- Drewnowski** (Casimir), Professeur à l'Ecole Polytechnique de Varsovie, 73, rue Koszykowa, Varsovie (Pologne). — Présenté par MM. Janet et Grosselin.
- Faure** (Henri-Lucien-Paul), Elève à l'E. S. E., 5, Boulevard Jourdan, Paris (14^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Gaillard** (Robert), Ingénieur Chef des Travaux aux Galeries Lafayette de Lyon, 11 bis, rue Molière, Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Canard et Rondet.
- Gangnat** (Philippe), 24, Avenue Friedland, Paris (8^e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Gheorghiu** (Ion S.), Ingénieur Professeur à l'Ecole Polytechnique de Bucarest, Str. Dionisie, 91, Bucarest (Roumanie). — Présenté par MM. Busila et Budeanu.
- Lebot** (Paul-Lucien), Chef Electricien, Cimenteries de Lohenghen (Pas-de-Calais). — Présenté par M. Fourcault et Grosselin.
- Leroy** (Maurice-S.-V.), Ingénieur à la Société Générale de Constructions Electriques et Mécaniques "Alsthom", 57, Boulevard de la Station, Pierrefitte (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.
- Liagre** (Charles), Ingénieur-Conseil, Chef du Laboratoire de Recherches et d'Essais de la Société des Accumulateurs Fulmen, 46, rue de Navarre, Asnières (Seine). — Présenté par MM. Bouche-rot et Bunet.
- Magrin** (Jean), Ingénieur I. E. T. Licencié ès sciences, 50, rue Jeanne-d'Arc, Paris (13^e). — Présenté par MM. Barillot et Lachaise.
- Menster** (Camille-Mathias-Joseph), Ingénieur à l'Union Minière du Haut-Fort-Haung, 70, rue Stassart à Bruxelles (Belgique). — Présenté par MM. Lavauchy et Grosselin.
- Société Electricité et Gaz du Nord**, 33, rue de l'Industrie, Jeumont (Nord). — Présentée par MM. Bunet et Grosselin.
- Société Minière et Métallurgique de Penarroya**, 12, place Vendôme, Paris (1^{er}). — Présentée par MM. Bunet et Grosselin.
- Société de Transport d'Energie des Alpes**, 49, rue de la Bourse, Lyon (Rhône). — Présentée par MM. Bunet et Grosselin.
- Soyer** (Léon-Achille-Louis), Ingénieur A. E. M., Elève à l'E. S. E., 15, rue de la Tuilerie, Neuilly-Palaisance (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.
- Teillard** (Robert-André), Ingénieur à la Société "Alsthom", Ingénieur E. C. P., 14, Avenue de la République, Nanterre (Seine). — Présenté par MM. Pestariui et Thurwanger.
- Union des Producteurs d'Electricité des Pyrénées Occidentales**, 156, rue de l'Université, Paris (7^e). — Présenté par MM. Bunet et Grosselin.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président rend compte qu'il a représenté la Société du 26 au 28 mai dernier aux fêtes du Centenaire de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures. Le 26, la Croix de la Légion d'honneur a été remise à l'Ecole par M. le Président de la République ; à cette occasion une gerbe de fleurs a été déposée au monument aux morts de l'Ecole et une adresse a été remise au Directeur, M. GUILLER, rappelant que l'Ecole a fourni à la Société, parmi ses Présidents disparus, trois des plus éminents, Hillairet, Hospitalier, Bochet.

Notre Président a remis aussi une gerbe et une adresse au nom de M. Paul Janet, auquel son deuil récent n'a pas permis de représenter l'Ecole Supérieure d'Electricité.

M. Darnault expose les résultats de la mission d'une durée de deux années dont l'avait chargé le Ministre des Colonies pour *la prospection des forces hydrauliques de l'Afrique équatoriale française*.

Il indique l'emplacement et la puissance des diverses chutes reconnues et mesurées par lui et qui apporteront l'énergie indispensable à notre colonie si pauvre en main-d'œuvre ; il compare l'importance relative de Brazzaville et des villes du Congo belge.

Il retrace les péripéties de son voyage de retour par la Rhodésie, le Mozambique, le Tanganyika et l'Egypte.

Cette conférence est illustrée de nombreuses projections d'un intérêt technique ou pittoresque.

M. Gratzmuller remercie M. Darnault d'avoir cédé à ses instances en présentant à la Société les résultats de sa mission entreprise avec un courage tranquille et souriant. M. Darnault a seulement oublié de mettre en relief les facultés d'organisation et de persévérance dont il a su faire preuve et l'importance des documents qu'il a rapportés. M. Gratzmuller prévoit que dans un avenir très proche, il devra de nouveau faire violence à M. Darnault pour l'amener à nous décrire les installations électriques, alimentées par les chutes d'eau qu'il a reconnues, et qui apporteront à nos vaillants colons les conditions d'hygiène et de confort, rêvées par Maurice Leblanc, par Boucherot et par Claude.

M. Ailleret demande à M. Darnault quels sont les débouchés envisagés pour l'énergie hydroélectrique produite.

M. Darnault répond que l'exploitation des gisements métallifères que renferment presque certainement des formations géologiques prolongeant celles du Congo Belge et celle des lignes de chemins de fer, assureront un débouché certain à toute l'énergie produite.

M. le Président remercie M. Darnault du magnifique voyage qu'il vient de faire accomplir à ses auditeurs, et le félicite de ses travaux, qui contribueront puissamment au développement futur de notre colonie africaine.

M. Mathivet expose les tendances actuelles dans les *Centrale thermiques américaines* en vue de chercher dans quelle mesure elles peuvent être applicables au développement futur des réseaux à haute tension du Nord de la France. Il signale la tendance au développement des surfaces de chauffe, qui atteignent actuellement 2 500 et 3 000 m² pour une production de 25 000 kg de vapeur à l'heure. Le chauffage au charbon pulvérisé reste, jusqu'ici, plutôt exceptionnel. Les pressions de vapeur ont été élevées progressivement de 25 à 35 kg/cm², mais deux stations seulement fonctionnent à 84 kg. Il est à remarquer que les deux centrales de New-York qui ont conservé les pressions relativement basses de 18 et 26 kg/cm² sont celles qui annoncent la consommation minima de 3 000 calories par kWh.

La température de la vapeur à la sortie des surchauffeurs est en général de 400° C. On étudie les moyens de la porter à 450° C, par l'emploi, notamment, d'aciers au tungstène et au molybdène.

La puissance des groupes électrogènes a toujours tendance à croître : on réalise 200 000 kW.

Lorsque la puissance d'un groupe dépasse 100 000 kW, les ingénieurs américains le divisent en 2 ou 3 corps de turbine actionnant chacune un alternateur d'une puissance unitaire de 50 000 à 70 000 kW. Pour refroidir des unités aussi puissantes, des ventilateurs font circuler, autour des enroulements, une masse d'air refroidie par des tubes à circulation d'eau.

La valeur de la tension aux bornes est, en général, comprise entre 13 000 et 15 000 V. La vitesse maxima atteinte est de 3 600 t/mn.

Un progrès considérable paraît avoir été apporté, dans la construction des chaudières, par M. Murray, qui a remplacé les parois réfractaires des foyers par des faisceaux tubulaires où circule l'eau à vaporiser. Il obtient ainsi 100 kg de vapeur par m² de surface de chauffe. Le rapport de la surface de chauffe au nombre de kW produit, ou indice superficiel, tombe ainsi à 0,06 m² au lieu de 0,10, nombre correspondant aux foyers à parois réfractaires et la consommation de charbon par kWh s'abaisse à 0,420 kg. Enfin, les ingénieurs américains paraissent avoir généralisé la pratique du soutirage de vapeur opéré en deux ou trois points des turbines à basse pression pour le réchauffage vers 160° C

de l'eau d'alimentation. L'économiseur est alors remplacé par un réchauffeur d'air de combustion, qui permet d'obtenir pour ce dernier, une température de 300° C. On obtient ainsi une économie supplémentaire de 3 à 4 pour cent sur les calories consommées par kWh. Le conférencier conclut que l'on pourrait envisager l'établissement dans la région minière du Nord et du Pas-de-Calais de groupes de 200 000 kW fournissant l'énergie électrique que des lignes à 200 000 V transporteraient dans toute la France.

M. Duval fait remarquer que les ingénieurs américains poursuivent actuellement des essais méthodiques sur l'emploi du charbon pulvérisé.

S'ils sont moins pressés que nous d'y parvenir, en raison de la qualité de leur combustible, ils ne paraissent pas y avoir renoncé.

Ils expérimentent aussi, et sur une large échelle, l'emploi des hautes pressions de vapeur. Mais il faut remarquer qu'une centrale moderne à très haute pression exige, pour être économique, que la marche soit permanente; or ce résultat n'est pas atteint en général, même aux Etats-Unis. Il ne faut pas croire que la France soit très en retard sur l'Amérique au point de vue technique, spécialement en ce qui concerne les lignes à très hautes tensions, mais pour être entreprise, une ligne à 200 000 V doit pouvoir renter le capital engagé et il est nécessaire qu'elle rentre dans un programme complet.

M. Darrieus fait observer que l'emploi des hautes pressions est peut-être freiné par les situations acquises dans les centrales anciennes et par la nécessité d'un facteur élevé d'utilisation. Il s'associe d'ailleurs au vœu formulé par M. Mathivet de voir la France recouverte d'un réseau complet à haute tension qui permettra d'abaisser les prix de revient dans toutes les industries desservies.

M. le Président, en remerciant M. Mathivet, fait remarquer qu'il y a cent ans, les régions des Etats-Unis desservies maintenant par les lignes à très haute tension étaient à peu près aussi désertes que celles parcourues dans l'Afrique Equatoriale française par M. Darnault dont la foi ne peut qu'être fortifiée par cette constatation.

La séance est levée à 23 heures.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

L'UTILISATION RATIONNELLE DE LA PUISSANCE DU VENT (1)

par M. NEU.

Avantages ; inconvénients. — Production de l'énergie électrique.

La production simple et économique de la force motrice est un problème qui s'est posé depuis la plus haute antiquité; il remonte bien au delà du Déluge et on peut penser qu'Adam, lors de son expulsion du Paradis, a dû déplorer amèrement d'être réduit à ne disposer pour tout moteur que de ses propres muscles.

Depuis plusieurs millénaires, les hommes ont eu recours à la force motrice de l'eau et à celle du vent et il n'y a guère plus d'un siècle et demi que les moteurs thermiques ont fait leur apparition.

L'utilisation de la puissance hydraulique des cours d'eau s'est très rapidement développée ces dernières années. On ne peut en dire autant de celle du vent.

Pourquoi cette défaveur sur le vent? Elle tient exclusivement à l'inconstance de sa vitesse.

Quand on veut actionner une installation par le vent, il faut la conditionner de façon à ce qu'elle puisse commencer à fonctionner par un vent de vitesse moyenne et cette condition conduit à des inconvénients graves qui font qu'on n'obtient qu'une très mauvaise utilisation du moteur à vent proprement dit. En effet, les principales applications du vent ont été jusqu'ici la mouture et l'élévation d'eau. Dans ces deux cas, une fois qu'on a déterminé les dimensions du moteur à vent choisi, on doit conditionner celles des meules ou de la pompe de façon

(1) Communication présentée à la séance de la 1^{re} Section du 10 mai 1929.

à obtenir qu'elles commencent à tourner pour une vitesse moyenne du vent, mettons 4 mètres à la seconde.

Pour cette vitesse, les débits horaires de la meule ou de la pompe auront une certaine valeur et si la vitesse du vent vient à doubler par exemple, le débit des meules ou de la pompe doublera seulement, alors que les lois de l'aérodynamique montrent que le moteur à vent proprement dit peut produire à vitesse double un travail 8 fois plus important qu'à vitesse simple.

On peut donc en conclure que l'installation est quelque peu boiteuse, l'outil actionné n'étant pas capable à chaque instant d'absorber utilement la puissance du moteur auquel il est accouplé.

Il en résulte que, pour faire une installation rationnelle d'un moteur à vent, il faut l'accoupler à un appareil pouvant, à chaque instant, absorber utilement un travail sensiblement fonction du cube de la vitesse du vent à l'instant considéré.

Ces dernières années, on a réalisé un certain nombre d'installations de production d'énergie électrique par moteur à vent, mais la question se complique le plus généralement de la nécessité de produire du courant à tension constante, quelle que soit la vitesse du vent.

On a dû recourir à des dispositifs spéciaux de régulation, et on adjoint généralement à l'installation une batterie d'accumulateurs électriques destinés à régulariser les variations de production de courant par le moteur à vent.

Malgré ces difficultés, quelques constructeurs, notamment en Allemagne, ont établi des modèles de moteurs à vent, moulins ou turbines de grandes dimensions permettant de développer par vent moyen des puissances déjà intéressantes.

La Vereinigte Wind Turbine Werk de Dresde offre des turbines Herkules de 15 m de diamètre qui développent 48 chevaux par vent de 8 m. La Maison Kletzck de Coswig offrait, dès 1925, des turbines à vent de 10 m. 75 de diamètre donnant, par vent de 8 m., 70 ch.

M. CONSTANTIN a étudié et réalisé des turbines éoliennes à deux pales à l'instar des hélices d'avions et qui ont donné d'excellents résultats. A Roanne, une telle turbine de 8 m de diamètre, est en service dans une station de pompage. Un tel type de moteur de 50 m de diamètre donnerait, par vent de 10 m, un travail de 560 ch.

A Leipzig, on a établi un projet pour la construction d'une tour éolienne sur laquelle voici quelques détails :

« A 250 m de hauteur seront montées, sur des colliers, deux traverses parallèles en forme de losanges. Aux extrémités deux tur-

« bines éoliennes, de trois éléments chacune, tournent en sens inverse dans un plan passant dans l'axe de la tour.

« Du fait que les turbines sont montées sur des plates-formes tournantes elles s'orientent toujours, à l'instar d'une girouette, dans la direction du vent. On les fait tourner en sens inverse, de manière à équilibrer les réactions exercées sur la tour par leurs couples-moteurs.

« Les deux turbines sont accouplées, par un renvoi d'arbres à engrenages, avec des générateurs électriques installés dans les bâtiments construits au pied de la tour. Leur puissance globale maximale atteint 6 000 kW.

« D'après les calculs des ingénieurs, le prix de revient du kilowatt-heure se tiendra aux environs de 6 centimes.

« Nous serions loin des prix enregistrés dans les centrales à vapeur et même dans les centrales hydrauliques!

« La société qui s'est constituée pour l'édification de cette énorme centrale à vent s'est rendu compte du parti qu'elle pourrait tirer du magnifique panorama visible de la tour.

« Les touristes pourront en jouir des deux salles de restaurant, pouvant abriter chacune 200 personnes, qui sont prévues au premier étage.

« A 550 m de hauteur seront amarrées les traverses-supports de l'antenne de radiotélégraphie. »

Enfin, nous rappelons que l'on est à la veille de voir réaliser de très intéressants moteurs à vent, comportant des demi-cylindres verticaux en forme d'S animés d'un mouvement de rotation autour de leur axe et utilisant l'effet Magnus qui a été récemment appliqué avec succès à la réalisation d'un navire sans voile à propulsion par le vent, type FLETTNER.

M. MAURIN, dans une étude sur les sources d'énergie, a exposé que la vitesse moyenne du vent en France au voisinage du sol est d'environ 5 m par seconde et que, si on envisage le travail qui pourrait être capté sur une bande de seulement 10 m de hauteur traversant la France entière, on arrive au chiffre respectable de 1 million de chevaux.

On connaît en général assez mal la grande puissance et la régularité du vent dans nombre d'emplacements favorables. Voici quelques chiffres suggestifs donnés par l'Office National Météorologique ;

Au Puy de Dôme, le vent a une vitesse supérieure à 8 m : s pendant 74 pour cent du temps en octobre, 79 en novembre, 85 en décembre.

77 en janvier, 83 en février, 79 en mars, 77 en avril. Au sommet de la Tour Eiffel, la vitesse moyenne du vent est de 9 m en octobre et novembre, 10 m en décembre, janvier et février, 9 m en mars et avril.

Au mont Ventoux, pendant 220 jours par an, la vitesse du vent est supérieure à 10 m.

On voit donc que pour bien des emplacements tels que les crêtes du Plateau Central, on dispose pour le vent d'une puissance au moins aussi constante que celle de nombre de chutes d'eau qui ont un étiage annuel et quelque fois deux.

Pour équiper une chute hydraulique on est soumis à nombre de suggestions de réglementation, de riveraineté, de plan d'eau, de restitution d'eau, etc..., et quand on a établi sur une rivière une chute d'eau qui y crée une dénivellation importante, il faut pour en créer une autre aller à une grande distance de la première.

Les travaux hydrauliques ne peuvent qu'exceptionnellement se faire par tranches successives, il faut presque toujours les exécuter de suite.

Pour le vent, il en va tout autrement. Les emplacements favorables sont sur des crêtes où les terrains sont de peu de valeur. Un moulin à vent ne cause aucun préjudice à son voisinage. L'installation d'un moulin à vent n'empêche en aucune façon d'en faire une autre très voisine.

On peut donc concevoir l'intérêt de l'aménagement de batteries comportant de nombreuses unités identiques de moteurs à vent dont on peut augmenter le nombre par étapes successives.

Il est donc permis d'envisager la création d'importantes sources de production d'énergie par le vent par les dispositifs suivants que nous avons décrits dans nos brevets dès 1922 et 1925 et qui peuvent se résumer comme suit :

On installe des batteries de moteurs à vent actionnant chacun une dynamo à courant continu à intensité constante et tension variable, dérivant des procédés THURY. Ces dynamos comportant des excitatrices établies de telle façon que la tension variable aux bornes des génératrices soit à chaque instant sensiblement proportionnelle au cube de leur vitesse de rotation.

Ces groupes ne nécessitent par conséquent aucun dispositif de réglage de vitesse.

Les génératrices des divers groupes sont connectées en série entre elles et le courant continu haute tension ainsi obtenu est établi à chaque instant l'intégrale des puissances sensiblement proportionnelles au cube de la vitesse du vent sur chaque moteur.

Ce courant continu à haute tension est envoyé à des groupes convertisseurs le transformant en courant triphasé d'une façon analogue à celle qui a été établie à Lyon pour le courant continu haute tension venant des Alpes.

Ce courant triphasé peut être versé dans les réseaux reliés, d'autre part, à des usines thermiques ou hydrauliques.

On peut aussi régulariser l'énergie variable fournie par le vent au moyen d'accumulateurs hydrauliques constitués par un lac naturel ou à créer, dans lequel on refoule de l'eau au moyen de moto-pompes alimentées par l'énergie du réseau des moteurs aériens.

Ces procédés permettent donc de réaliser des installations pouvant être établies progressivement avec des groupes électrogènes identiques pouvant être construits en série.

Les frais d'installations, d'exploitation et de surveillance de ces groupes électrogènes tournant à vitesse quelconque sont des plus réduits.

L'électroconnexion des réseaux qui se développe aujourd'hui d'une façon intensive permettrait, par l'application de ces procédés, d'apporter un très intéressant appoint aux stations thermiques et hydrauliques dans la plupart des pays et particulièrement en France dont la situation topographique permettrait dans des conditions très avantageuses l'exécution de telles installations.

Il est difficile, quant à présent, d'indiquer le coût de premier établissement par kW de telles installations, car la construction en série du matériel nécessaire n'a pas encore été réalisée, mais on peut espérer que par un emploi judicieux du béton armé, des fers profilés et des tôles embouties, on pourrait arriver à des solutions particulièrement économiques.

En conclusion, on peut dire qu'un vaste champ jusqu'ici presque inexploré est largement ouvert aux installations et aux exploitations aéro-électriques, et je serais tout particulièrement heureux si cette modeste communication contribuait à provoquer la mise en œuvre de ces procédés, procédés qui, avec le concours de hardis réalisateurs, permettraient d'aider l'humanité dans sa marche incessante vers le meilleur être.

LA FOUDRE ET LES LIGNES ÉLECTRIQUES⁽¹⁾

Par M. C. DAUZÈRE.

Directeur de l'Institut et Observatoire de Physique du Globe du Pic du Midi.

Théorie des orages et des nuages à grêle. — Causes de l'ionisation de l'air. — Les centres d'ionisation de l'air sont liés à la constitution géologique du sol. — Rôle joué par les lignes électriques. — Mesures à prendre. — Conclusions.

La collaboration entre la Science pure et l'Industrie a toujours été féconde pour l'une et pour l'autre : toute l'Electricité industrielle est sortie des admirables découvertes d'AMPÈRE et de FARADAY; par ailleurs, c'est la recherche de l'amélioration pratique des câbles sous-marins, qui a été l'origine des travaux de LORD KELVIN, si remarquables au point de vue théorique et expérimental. Cette collaboration s'impose principalement dans les questions qui sortent du cadre, habituellement très limité, dans lequel s'exerce l'action des hommes de Science pure ou appliquée.

Ainsi le fonctionnement des lignes électriques est peu familier à la plupart des météorologistes, tandis que le mécanisme des phénomènes météorologiques a généralement peu d'intérêt pour les Ingénieurs électriciens. Cependant les effets de la foudre sur les lignes électriques préoccupent fortement les uns et les autres. C'est pourquoi ce sujet, englobé souvent dans la question plus générale de la protection contre les surtensions, a fait l'objet de nombreuses délibérations de la Société Française des Electriciens. Pareillement, la Société Météorologique de France a mis à l'ordre du jour de ses réunions l'étude des coups de foudre sur les lignes électriques rurales; deux séances ont été déjà consacrées à cette discussion et une troisième est prévue pour un jour prochain; il est probable que des résolutions importantes se dégageront de cette discussion, à laquelle j'ai participé.

Je me propose d'exposer avec quelques détails les recherches que nous avons entreprises à l'Observatoire du Pic du Midi sur les phénomènes orageux en général et sur les points de chute de la foudre en

(1) Conférence faite à Toulouse et à Tarbes sous le patronage de la Société Française des Electriciens.

particulier. La question sera traitée uniquement au point de vue de la Physique du Globe; je montrerai cependant les conséquences qu'elle comporte pour la protection des installations électriques.

THÉORIE DES ORAGES ET DES NUAGES A GRÊLE.

Les méfaits de la foudre se multiplient depuis quelques années, comme le montre la figure suivante : (fig. 1).

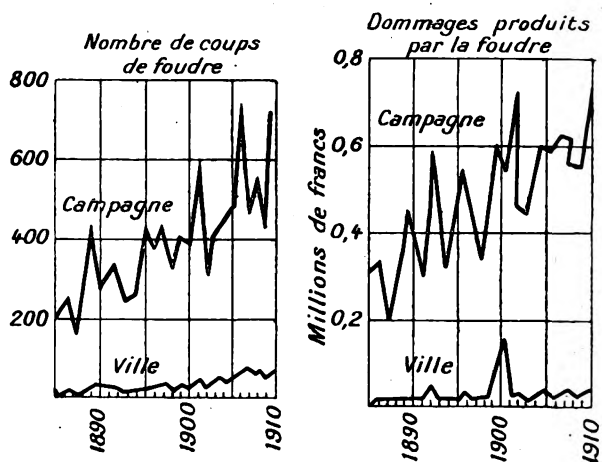


Fig. 1. - Variation du nombre annuel de coups de foudre et de la valeur annuelle des pertes qu'ils entraînent.

Ces courbes représentent les résultats de statistiques faites en Allemagne avant la guerre ⁽¹⁾ ; il n'est pas douteux que de pareils statistiques faites dans une autre contrée donneraient le même résultat. On voit, dans la figure, l'augmentation progressive du nombre des accidents et de la valeur des pertes. Chaque diagramme comprend deux courbes relatives, l'une aux villes, l'autre aux campagnes. On voit que, dans les campagnes, le nombre des coups de foudre et la valeur des dommages sont chaque année beaucoup plus considérables que dans les villes. L'importance relative des pertes est en moyenne de 7 pour cent dans les villes, 93 pour cent dans les campagnes.

Ce dernier résultat s'explique, par l'abondance plus grande dans les campagnes des « ions » qui transportent l'électricité dans un coup de

(1) Ces diagrammes sont extraits d'un article de BORDONI, publié dans l'*Elettrotecnica*, mars-avril 1924

foudre. Quant au premier résultat, savoir l'augmentation du nombre des coups de foudre *constatés*, il faut l'attribuer, à notre avis, à la multiplication énorme des lignes électriques, au progrès de l'électrification rurale principalement. Je ne veux pas dire par là que la foudre est attirée par les lignes électriques, mais que les lignes enregistrent les coups de foudre avec une fidélité parfaite, et transportent les dommages sur tout leur parcours. Tout ceci ressortira avec évidence de l'exposé que je vais faire. Je montrerai quelle est la cause véritable de la chute de la foudre en un lieu donné; nous verrons ainsi que la présence ou l'absence en ce lieu d'une ligne électrique ne peut avoir aucune influence.

Avant d'entrer dans le détail de nos recherches, je crois utile de résumer l'essentiel de nos connaissances scientifiques actuelles sur les orages et la théorie que j'ai imaginée pour les compléter.

On sait qu'un orage a pour cause le mouvement ascensionnel très rapide d'une colonne d'air chaud et humide, dans une atmosphère plus froide. La vitesse du courant d'air vertical ascendant, qui règne au milieu du cumulo-nimbus, est très considérable; elle dépasse le plus souvent 8 m : s. La plupart des effets de l'orage s'expliquent par cette violence du mouvement; c'est ainsi que des altitudes très grandes peuvent être atteintes par le nuage orageux, dont la base plate et horizontale est située entre 1 500 et 1 800 m et dont le sommet atteint parfois 8 à 9 km au début de l'orage; l'air ambiant résistant plus ou moins à cette ruée d'air chaud vers le haut, il se forme au sein du nuage des tourbillons qui donnent au sommet du cumulo-nimbus une forme arrondie. L'orage est accompagné de phénomènes électriques intenses que l'on peut résumer en disant qu'un champ électrique d'une grande intensité prend naissance entre la base du cumulo-nimbus et le sol. Cette intensité s'exprime par le gradient du potentiel atmosphérique, qui atteint en plaine, par le temps d'orage, plusieurs centaines de volts par mètre, tandis que sa valeur ne dépasse guère une centaine de volts par temps serein.

Comment des tensions électriques aussi prodigieuses prennent-elles naissance au cours d'un orage? Il est difficile de le dire avec certitude dans l'état actuel de la Science; des hypothèses, dont certaines ont d'ailleurs un haut degré de probabilité, remplacent sur ce point les connaissances précises. La plupart de ces hypothèses sont basées sur l'existence dans l'air d'« ions » électrisés, les uns positivement, les autres négativement; ils portent tous la même charge en valeur ab-

solue : $e = 4,77 \times 10^{-10}$ U. E. S. ; ils interviennent, en même temps que les poussières dans la condensation de la vapeur d'eau de l'air; ils constituent les noyaux autour desquels se forment les gouttelettes des nuages; une partie tout au moins de la charge électrique de ces gouttelettes est ainsi produite.

Quand on veut aller plus loin et expliquer complètement la production de l'électricité dans un orage, on se heurte à de nombreuses difficultés. La question a été étudiée surtout par les Physiciens anglais, qui se partagent en deux écoles, dont les points de vue sont diamétralement opposés. D'après Wilson ⁽¹⁾, la base des nuages serait électrisée négativement, le sommet positivement, dans la plupart des cas; d'après SIMPSON ⁽²⁾, ce serait l'inverse. Ce dernier a imaginé une théorie de la formation des charges électriques dans les orages, d'après laquelle le courant d'air très violent arracherait aux grosses gouttes de pluie des parcelles qui seraient électrisées négativement et emportées par le courant d'air. Les gouttes restantes, primitivement neutres, seraient après cette rapture électrisées positivement; ces gouttes positives recevraient, par le même procédé, des charges successives et s'accumuleraient à la partie antérieure et à la base des nuages, dans une région où se développerait ainsi une forte charge positive. Cette région serait le point de départ de la très grande majorité des éclairs, qui transporteraient ainsi de l'électricité positive du nuage vers le sol. Des éclairs transportant de l'électricité positive du sol vers le nuage se produiraient aussi, mais beaucoup plus rarement, au-dessous des parties éloignées du cumulonimbus.

La théorie du brisement des gouttes a été très combattue; nous ne voulons pas la discuter ici; nous retiendrons simplement la conclusion relative au signe des décharges, car les expériences, qui ont conduit SIMPSON à cette conclusion, sont indépendantes de la théorie du brisement. D'après SIMPSON, l'éclair est constitué par un canal, qui prend son origine sur la charge positive du nuage et se dirige vers une charge négative portée par un autre nuage ou par le sol; le long des parois du canal, les ions positifs marchent dans le sens du champ; à l'intérieur du canal, les ions négatifs sont attirés et drainés vers le nuage. S'il existe sur le sol un lieu de production abondante des ions négatifs, nous croyons que le canal ionisé y aboutira de préférence et qu'un tel lieu sera exposé plus que tout autre à recevoir la décharge.

(1) C. T. R. Wilson. — *Proceedings of the Royal Society A.* vol. 92, p. 555 (1916) et *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A.* vol. 221, p. 73 (1921).

(2) G. C. Simpson. — *Phil. Trans. A.* vol. 209, p. 379 (1909); *Roy. Soc. Proc. A.* vol. 111, p. 56 (1926); *Roy. Soc. Proc. A.* vol. 114, p. 376 (1927).

Nous venons de voir que l'éclair draine vers l'intérieur du nuage les ions négatifs, tandis que les ions positifs sont précipités vers le sol. L'afflux des ions négatifs vers le haut s'effectue d'ailleurs avant et après l'éclair, par suite de la direction du champ et de la convection orageuse, dans les lieux de production de ces ions par le sol. Ces ions négatifs se répandent dans toute l'étendue du nuage, comme ceux qui résultent, d'après SIMPSON, de la rupture des gouttes. Ils se combinent aux gouttelettes neutres formées par la condensation de la vapeur d'eau sur les poussières. Les gouttelettes entraînées par le courant d'air vers la partie supérieure du nuage sont donc, pour la plupart, chargées négativement, et cette charge provient des lieux de production d'ions négatifs par le sol.

La grande vitesse du mouvement ascendant porte rapidement les gouttelettes à une altitude où la température de congélation est atteinte (de 4 à 5 000 m en été); les gouttelettes entraînées plus haut restent ordinairement en surfusion. Leur congélation est provoquée par contact avec les aiguilles de glace des cirrus, comme l'a indiqué M. ANGOT (1) de manière à former les noyaux des grêlons. Ce contact est favorisé, sinon toujours déterminé, par l'attraction de la charge positive que prennent les aiguilles de glace des cirrus, sous l'action des rayons solaires, ultra-violet, qui leur font perdre des électrons, d'après M. BRILLOUIN (2).

Chaque petit cristal de glace du cirrus attire et solidifie les gouttelettes négatives qui l'entourent; il devient ainsi le noyau d'un grêlon. Si le petit cristal de glace, sous l'action des rayons ultra-violet, a perdu n électrons, sa charge positive est égale à $n \cdot e$. Il peut attirer et solidifier un nombre n' de gouttelettes négatives tout au plus égal à n . Si n' est plus petit que n , le grêlon est positif et sa charge est :

$$(n - n') \cdot e.$$

Si $n = n'$, le grêlon est à l'état neutre; mais les rayons du soleil qui éclairent la partie supérieure du cumulo-nimbus où s'est formé le grêlon, peuvent agir de nouveau sur celui-ci, lui redonner une charge positive, le rendre capable d'attirer de nouvelles gouttelettes surfondues et ainsi de suite.

La montée des gouttelettes négatives surfondues au niveau des cirrus est donc indispensable pour la formation de la grêle (fig. 2). Cette montée s'effectue principalement au-dessus des lieux où les ions négatifs

(1) Angot, *Traité de Météorologie*, 4^e édition, page 300.

(2) *Revue générale des Sciences*, tome 8. 1897. page 642.

tifs se produisent en abondance; c'est là que la grêle prend son origine, ou plutôt c'est là que se forme le mélange des aiguilles de glace avec les gouttelettes surfondues, qui donne naissance aux grêlons. Ces der-

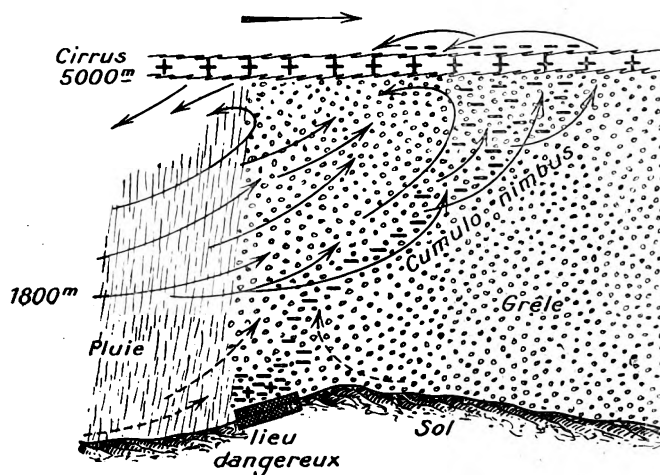


Fig. 2. — Coupe verticale d'un orage à grêle.

niers sont emportés, avec le mélange producteur, par le vent horizontal qui souffle dans le sens de propagation de l'orage. La grêle est ainsi semée sur une bande dont la largeur initiale est celle du lieu d'ori-

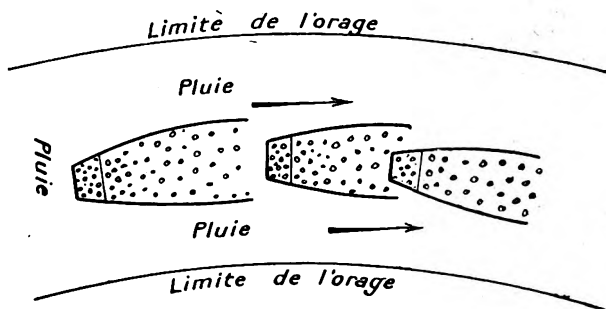


Fig. 3. — Carte schématique d'un orage à grêle.

gine; cette largeur augmente en même temps que la grêle s'affaiblit quand on s'éloigne du lieu d'origine; elle reprend une nouvelle violence sur un autre lieu de production des ions négatifs et ainsi de suite (fig. 3).

LES CENTRES D'IONISATION SONT LIÉS A LA CONSTITUTION GÉOLOGIQUE DU SOL.

Dans la théorie que nous venons d'exposer, les lieux de production abondante des ions négatifs par le sol jouent un rôle capital : c'est sur eux que tombe la foudre, c'est sur eux que la grêle prend son origine. L'importance de ces lieux serait faible cependant, si leur situation était arbitraire et variait au cours de l'orage ou d'un orage à l'autre. L'intérêt principal de nos recherches est précisément de montrer que *ces centres d'ionisation ont une position fixe, indépendante de l'orage.*

Le point de départ de ces recherches est une enquête sur les points de chute de la foudre, qui a été poursuivie pendant une trentaine d'années aux environs de Bagnères de Bigorre, par mon collaborateur M. J. BOUGET. Les résultats de cette enquête ont été publiés il y a quelques années ⁽¹⁾. M. BOUGET a noté chaque fois avec le plus grand soin le lieu de l'accident et ses circonstances. Il n'a pas tardé à reconnaître que la foudre ne tombe pas au hasard mais qu'elle a une prédilection marquée pour certains lieux. D'après l'opinion courante, ce seraient les lieux élevés, les sommets des clochers par exemple, qui jouiraient de ce triste privilège. Il en est ainsi généralement dans une contrée dont la constitution géologique est à peu près uniforme.

Dans une région montagneuse, où les roches et les terrains les plus différents sont rapprochés sur des superficies restreintes, les choses se passent tout autrement. L'enquête de M. BOUGET a donné dans ce cas les résultats suivants :

1° Les lieux de prédilection de la foudre ne sont pas toujours des points proéminents par rapport au sol, c'est-à-dire des sommets de montagne; ils sont situés souvent au voisinage des sources, dans les fonds des vallons, dans les cols, ce qui est l'opposé de l'opinion courante.

2° *La situation des lieux fréquemment foudroyés dépend avant tout de la constitution géologique du sol; les calcaires compacts ne sont presque jamais foudroyés; les schistes ardoisiers, les granits, les ophites le sont souvent.*

(1) C. Dauzère et J. Bouget. — *Recherches sur la foudre dans les Pyrénées centrales.* — Congrès des Sociétés savantes, 1925.

3° Les lieux les plus exposés sont situés sur les lignes de contact de deux terrains géologiques différents. Sur ces lignes sont situés les fonds des vallons, les sources, les cols, qui pour cette raison sont souvent foudroyés.

Ceci est illustré par la coupe géologique de la région de Labassère, voisine de Bagnères-de-Bigorre (fig. 4); il y a des schistes exploités en

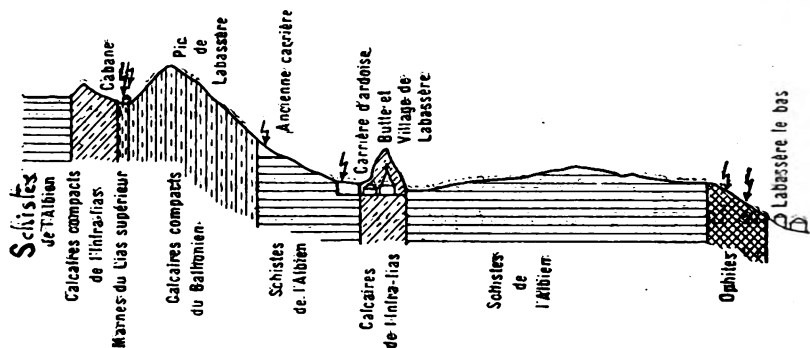


Fig. 4. — Coupe géologique de la région de Labassère (Hautes-Pyrénées).

certain points comme carrières d'ardoises, des calcaires, des ophites, des marnes appartenant à divers étages géologiques. Les calcaires forment ses sommets, ils ne sont jamais atteints. Les points foudroyés se trouvent sur les ophites, les schistes; le lieu le plus dangereux, où cinq hommes furent tués par la foudre dans une cabane de bergers, est situé dans un petit col, à quelques mètres du sommet intact du Pic de Labassère; ce lieu est placé précisément sur une ligne de contact.

CAUSES DE L'IONISATION.

Les conclusions de l'enquête de M. BOUCET peuvent s'expliquer de deux manières différentes :

La première explication fait intervenir la conductibilité électrique des différents sols. Un sol bon conducteur subit mieux que les autres l'influence électrostatique du nuage orageux; il en résulte au-dessus de lui une augmentation notable du champ électrique qui règne entre la

base du cumulo-nimbus et la terre. Si l'on admet que la décharge suit la ligne de force le long de laquelle l'intensité du champ est la plus grande, un sol bon conducteur doit être frappé de préférence. Nous avons recherché si cette explication est bien fondée; à cet effet, nous avons mesuré le champ électrique en un grand nombre de lieux aux environs de Bagnères, dans les conditions atmosphériques les plus diverses. Nous avons trouvé que l'intensité du champ a toujours les valeurs les plus grandes sur les sommets des montagnes quelle que soit la nature des roches qui les forment; les lieux souvent foudroyés ne jouissent à cet égard d'aucun privilège. Les sommets des montagnes devraient être le plus souvent frappés, si l'intensité du champ jouait le rôle principal dans la décharge; les cols qui sont à leur pied devraient être presque toujours épargnés. Or dans la plupart des cas, c'est l'inverse qui a lieu : les cols sont frappés et les sommets intacts comme nous l'avons dit. L'augmentation de l'intensité du champ, résultant de la bonne conductibilité du sol, paraît donc une circonstance inopérante dans le cas actuel; ceci est conforme aux idées exprimées par DORSEY à ce sujet (1).

Il faut donc chercher une autre explication. Je l'ai trouvée, en faisant intervenir la conductibilité électrique, non plus du sol, mais du chemin que suit la foudre dans l'air. Il est évident que ce chemin doit être celui qui offre la meilleure conductibilité pour la décharge électrique. C'est pourquoi je formai le projet de mesurer la conductibilité électrique de l'air dans les lieux fréquemment foudroyés et dans des lieux voisins qui ne sont jamais atteints.

La conductibilité électrique de l'air résulte du transport des charges électriques par les ions. Ceux-ci se meuvent sous l'action du champ électrique F avec des vitesses différentes v et v' proportionnelles à F ,

$$v = k.F \qquad v' = k'.F,$$

k et k' s'appellent les *mobilités*; ce sont les vitesses d'un ion positif et d'un ion négatif dans un champ égal à l'unité. Ces deux mobilités ne sont pas égales; la mobilité k' des ions négatifs est toujours supérieure à la mobilité k des ions positifs; leurs valeurs moyennes sont :

$$k = 1,08 \text{ cm : s.} \qquad k' = 1,22 \text{ cm : s.}$$

soit n et n' les nombres d'ions positifs et négatifs par cm^3 d'air. Les quantités d'électricité, transportées par seconde à travers un élément

(1) N. E. Dorsey. — *Journal of the Washington Academy of Sciences*, Février 1926, analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, tome XX, p. 16, 3 juillet 1926.

de surface de 1 cm^2 normal au champ, sont alors pour les deux signes :

$$q = vnc = kneF = \lambda F \qquad q' = v'n'e'F = \lambda' F$$

en posant :

$$\lambda = kne \qquad \lambda' = k'n'e'$$

λ et λ' sont les conductibilités pour les ions positifs et négatifs. Leur somme : $\lambda + \lambda'$ est la conductibilité totale.

Non seulement les mobilités k et k' sont différentes pour les deux signes, mais encore, si l'on considère les ions d'un signe déterminé, par exemple $+$, k n'est pas le même pour tous les ions positifs. Si nous nous bornons aux ions de l'atmosphère, il paraît établi qu'il n'y a que deux mobilités bien distinctes : celle des ions ordinaires, ou *petits ions*, qui est de l'ordre de 1 centimètre par seconde et celle des *gros ions*, qui est de l'ordre de $\frac{1}{3000}$ centimètres par seconde.

Ceci posé, il faudrait, en toute rigueur, mesurer la conductibilité et compter le nombre d'ions de chaque signe et de chaque espèce (petits et gros ions) dans les lieux fréquemment atteints et dans les lieux environnants notoirement épargnés par la foudre; mais nous devons éviter toute complication d'appareils et d'opérations, car nous avons à faire un grand nombre de mesures dans la montagne, en des lieux dont l'accès est parfois difficile. Aussi nous nous sommes bornés tout d'abord à employer la méthode de déperdition, imaginée par ELSTER et GEITEL, qui comporte des appareils simples et facilement transportables. Elle consiste, on le sait, à observer la déperdition de la charge d'un cylindre conducteur de capacité c , soigneusement isolé et réuni à un électromètre de capacité c' ; cette déperdition se fait par l'action des ions de signe contraire à la charge, qui sont attirés par elle. On mesure le temps t que met le potentiel du cylindre de déperdition et de l'électromètre à s'abaisser de la valeur V_0 à la valeur V ; on calcule la conductibilité de l'air, pour les ions de signe contraire à celui de la charge du cylindre, par la formule connue :

$$4\pi\lambda = \frac{c + c'}{c} \cdot \frac{1}{t} \cdot \text{Log}_e \frac{V_0}{V}. (1).$$

La méthode de déperdition donne des résultats corrects, toutes les fois que le champ électrique est de faible intensité. Elle est inapplicable

(1) Voir Mathias, *Traité d'électricité atmosphérique et tellurique*, page 108.

lorsque le champ électrique a une intensité notable, à cause des phénomènes d'influence qui se produisent alors. Il en est ainsi à l'approche et au cours d'un orage dans les stations de plaine, et en toute circonstance sur les sommets des montagnes. On doit alors appliquer la méthode de GERDIEN, qui donne toujours des résultats corrects, indépendants de la grandeur du champ électrique. Elle consiste à faire passer un courant d'air à travers un condensateur cylindrique, dont l'armature extérieure est réunie au sol, et dont l'armature intérieure, réunie à un électromètre, est chargée au potentiel V ; les ions entraînés par le courant d'air, qui sont de signe contraire à la charge de l'armature intérieure, sont attirés par celle-ci; certains d'entre eux viennent en contact avec elle et neutralisent progressivement sa charge; on mesure le temps t que met le potentiel à s'abaisser de V_0 à V . On démontre que, si la vitesse du courant d'air est assez grande, cette vitesse est sans influence (elle s'élimine dans les calculs); la conductibilité λ' est encore donnée par la même formule :

$$4\pi\lambda' = \frac{c + c'}{c} \cdot \frac{1}{t} \cdot \text{Log}_e \frac{V_0}{V} \quad (1).$$

Par l'une et l'autre méthode, nous avons effectué des mesures dans des stations de plaine et de montagne, dont certaines étaient fréquemment foudroyées et dont les autres n'avaient jamais reçu un coup de foudre de mémoire d'homme. Nous avons opéré dans chaque lieu aussi souvent que possible, dans des conditions météorologiques variées nous avons déterminé les deux conductibilités λ et λ' ; nous avons noté chaque fois les valeurs de la pression, de la température, de l'intensité du champ électrique.

L'une des stations choisies est l'emplacement de l'abri météorologique à l'Observatoire de Bagnères (560 mètres d'altitude). Nous avons fait le tableau de toutes les expériences de l'été dernier; ce tableau comprend les valeurs exprimées en U. E. S. des deux conductibilités positives et négatives λ et λ' , celle de la conductibilité totale $\lambda + \lambda'$ et celle du rapport $\frac{\lambda}{\lambda'}$. Voici un extrait de ce tableau :

(1) Voir Mathias, *Traité d'électricité atmosphérique*, page 110.

Jours et heures	$\lambda \times 10^4$	$\lambda' \times 10^4$	$(\lambda + \lambda') \cdot 10^4$	$\frac{\lambda}{\lambda'}$	Observations.
1 ^{er} juil. 18 ^h 50	2,17	2,22	4,39	0,98	Très beau temps.
3 — 17 ^h 15	1,21	1,37	2,68	0,88	Avant l'orage.
6 — 13 ^h 45	1,07	0,89	1,96	1,20	Ciel couvert non orageux.
9 — 17 ^h 40	1,33	0,81	2,14	1,64	Id.
11 — 16 ^h 9	1,40	1,03	2,43	1,36	Orageux vers le sud.
12 — 10 ^h 20	1,05	0,64	1,69	1,64	Id.
id. 12 ^h 20	1,15	1,88	3,03	0,61	Eclairs et tonnerre.
id. 18 ^h	2,73	2,24	4,97	1,22	Après l'orage.
15 — 14 ^h 20	1,30	1,18	2,48	1,10	Nuages orageux au sud.
id. 17 ^h 20	2,56	1,90	4,46	1,34	Tonnerre lointain.
id. 18 ^h	2,18	2,40	4,58	0,91	Tonnerre, éclairs.
id. 19 ^h 10	1,58	1,80	3,38	0,88	L'orage s'éloigne.
27 — 5 ^h 15	0,89	0,60	1,49	1,48	Brouillards.
25 sept. 15 ^h 37	1,91	1,22	3,13	1,57	Nuageux.

Le nombre total des expériences de l'été 1928 est égal à 42. Il y en a 29, pour lesquelles le rapport $\frac{\lambda}{\lambda'}$ est plus grand que 1 et 13 pour lesquels ce rapport est plus petit que 1. Nous retrouvons ainsi un résultat bien connu : à Bagnères, la conductibilité positive est le plus souvent supérieure à la conductibilité négative.

Sur les 42 observations, 18 ont été faites par un temps orageux. Parmi celles-ci, 10 donnent un rapport $\frac{\lambda}{\lambda'}$ inférieur à l'unité.

Donc, par temps orageux, la conductibilité négative est, dans la grande majorité des cas, plus grande que la conductibilité positive. Cette conclusion se confirme, si l'on examine comment varie la conductibilité au cours d'une journée orageuse, telle que celle du 15 juillet. On voit sur le tableau que λ et λ' augmentent d'abord toutes les deux ainsi que leur somme. Cette augmentation est plus marquée pour la conductibilité négative, qui devient bientôt la plus grande; elle prend des valeurs très élevées quand la pluie commence à tomber.

Les résultats précédents ont été confirmés par beaucoup d'autres mesures que nous avons faites dans d'autres lieux aux environs de Bagnères. Aussi nous croyons pouvoir formuler les conclusions générales suivantes :

Au point de vue de la conductibilité de l'air, l'approche et le début d'un orage, en un lieu donné, sont caractérisés, dans la très grande majorité des cas :

1° par une valeur élevée de la conductibilité totale.

2° par la prépondérance de la conductibilité pour les ions négatifs.

On peut exprimer ceci autrement. La conductibilité est le produit de 3 facteurs ($\lambda = k.n.e.$), dont le dernier e est constant, dont le pre-

mier k varie peu avec les conditions atmosphériques; il en résulte que λ et n varient à peu près dans le même sens. On peut dire alors :

Au point de vue de l'ionisation de l'air, l'approche et le début d'un orage sont caractérisés le plus souvent :

1° *par une augmentation totale du nombre total d'ions positifs et négatifs par cm^3 d'air;*

2° *par la prédominance des ions négatifs.*

La station de Bagnères de Bigorre est le type des lieux que la foudre ne frappe jamais. Les résultats des mesures de conductibilité sont un peu différents pour un lieu souvent foudroyé. Parmi ceux que nous avons explorés, nous choisirons celui qu'on appelle le « Courtalet », sur le chemin du Mont-Olivet, qui domine Bagnères. Il est situé sur un terrain métamorphique, dont la roche principale est le gneiss; il est assez loin d'une ligne de contact mais tout près d'un gisement de fer oligiste et de magnétite. Nous avons fait, pour les expériences de l'été dernier effectuées en ce lieu, un tableau analogue au précédent :

(Altitude du lieu : 690 m).

Jours et heures	$\lambda \cdot 10^4$	$\lambda' \cdot 10^4$	$(\lambda + \lambda') \cdot 10^4$	$\frac{\lambda}{\lambda'}$	Observations
7 juin 10 ^h 22	1,39	1,69	3,08	0,82	Avant pluie orageuse.
8 — 8 ^h 43	0,78	0,86	1,64	0,91	Temps couvert.
9 — 10 ^h 30	2,07	2,18	4,25	0,95	Orageux.
14 — 10 ^h 20	1,30	1,24	2,54	1,05	Brumeux.
24 — 14 ^h 10	1,25	1,37	1,62	0,91	Id.
id. 17 ^h 40	1,63	1,66	3,29	0,98	Id.
26 — 6 ^h 7	0,69	0,64	1,33	1,07	Après pluie, sol humide.
id. 9 ^h 53	1,61	1,94	3,55	0,83	Assez beau.
5 juill. 7 ^h 30	2,46	2,07	5,53	1,19	Chaud et orageux.
id. 15 ^h 52	1,97	2,31	4,28	0,85	Tonnerre, coup de vent violent.
id. 18 ^h	2,37	2,09	4,46	1,13	Après le coup de vent.
8 — 17 ^h 25	1,44	1,51	2,95	0,95	Très brumeux, couvert.
21 — 10 ^h 20	1,52	0,98	2,50	1,55	Ciel clair.
27 — 7 ^h 37	1,00	1,01	2,01	0,99	
22 oct. 14 ^h 20	1,65	1,68	3,33	0,98	
24 — 15 ^h 35	2,46	2,18	4,64	1,13	

Le nombre total des expériences du tableau est de 16, sur lesquelles il y a 6 valeurs du rapport $\frac{\lambda}{\lambda'}$ supérieures à l'unité et 10 inférieures. Donc la conductibilité négative est, au Courtalet, le plus souvent supérieure à la conductibilité positive, contrairement à ce qui se passe dans les lieux non foudroyés.

Nous remarquons dans le tableau, les valeurs relativement élevées de

la conductibilité totale $\lambda + \lambda'$. Si l'on calcule les moyennes de ces valeurs, à Bagnères d'une part, au Courtalet de l'autre, on trouve :

$$\lambda + \lambda' = 2,66 \times 10^{-4} \text{ à Bagnères}$$

$$\lambda + \lambda' = 3,18 \times 10^{-4} \text{ au Courtalet.}$$

Nous concluons de là que la conductibilité totale possède au Courtalet une valeur relativement grande, notablement supérieure à celle de Bagnères.

Dans tous les autres lieux fréquemment foudroyés, où nous avons pu faire, comme au Courtalet, des séries d'expériences, nous avons trouvé des résultats analogues. Ainsi, nous avons fait 15 expériences à la Fontaine des Fées (altitude 730 mètres), sur la ligne de contact des gneiss métamorphiques du Mont-Olivet et des calcaires jurassiques du Bédât. Nous avons trouvé pour la moyenne des valeurs de la conductibilité :

$$\lambda + \lambda' = 4,89 \times 10^{-4} \text{ à la Fontaine des Fées.}$$

Le rapport $\frac{\lambda}{\lambda'}$ était inférieur à l'unité dans 9 expériences sur 15, supérieur à l'unité dans 6.

Nous pouvons donc énoncer les conclusions générales suivantes :

Dans les lieux fréquemment foudroyés : 1° la conductibilité totale de l'air a une valeur plus élevée que dans les lieux qui ne sont jamais foudroyés; 2° la conductibilité pour les ions négatifs est le plus souvent supérieure à la conductibilité pour les ions positifs.

Autrement dit :

Dans les lieux fréquemment foudroyés : 1° Le nombre total d'ions par cm³ est relativement grand; 2° les ions négatifs sont d'ordinaire plus nombreux que les ions positifs.

Les conditions qui caractérisent l'approche d'un orage sont ainsi réalisés en permanence dans les lieux fréquemment foudroyés.

Les mesures faites sur les sommets des montagnes ont une grande importance, à cause de l'intensité exceptionnelle des phénomènes correspondants; cependant, nous les laisserons de côté, car les résultats sont encore trop incomplets. Nous voulons seulement aujourd'hui attirer l'attention sur ces phénomènes orageux exceptionnels.

Le type de ces sommets est le Pic du Midi de Bigorre (2 877 m d'altitude), où est situé notre Observatoire (fig. 5). Le sommet du Pic et l'observatoire sont placés bien souvent au milieu même du cumulo-

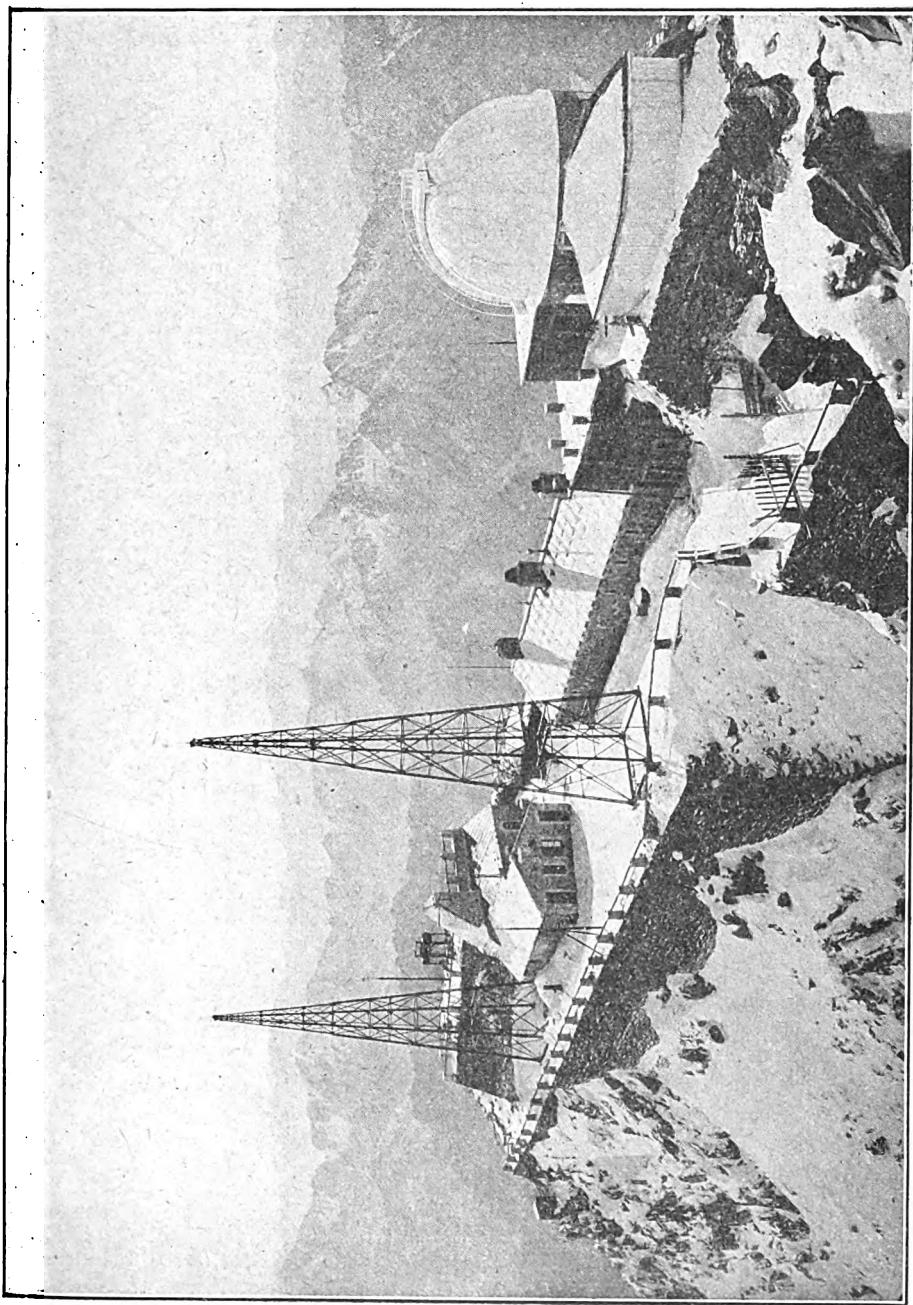


Fig. 5. — Vue de l'observatoire du Pic du Midi (2 860 m) et de la chaîne des Pyrénées, prise du sommet du Pic (2 877 m d'altitude).

nimbus producteur de l'orage; l'intensité du champ y acquiert une valeur énorme, sous l'action de laquelle l'ionisation augmente considérablement. Les décharges sont fréquentes et la foudre frappe souvent les paratonnerres; mais ceux-ci ont, jusqu'à ce jour, exercé fort bien leur rôle protecteur. Ils déchargent lentement les nuages qui les entourent,

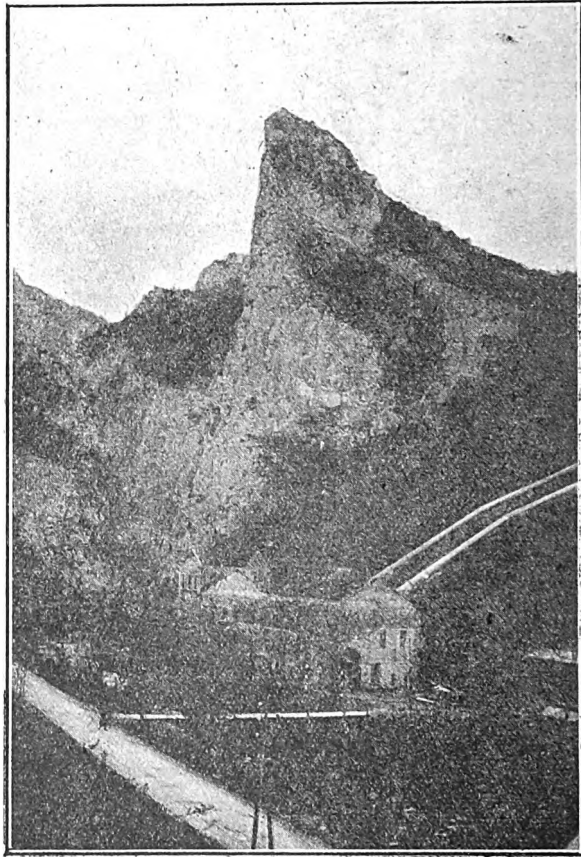


Fig. 6. — Vue des gorges de Saint-Georges montrant l'usine incendiée par la foudre.

par des effluves qui sont accompagnés d'un sifflement strident, et pendant la nuit d'une aigrette lumineuse. Les pylônes qui soutiennent l'antenne de T. S. F. forment d'excellents paratonnerres; pendant une nuit orageuse, ils se garnissent parfois de la base au faite d'une gaine lumineuse; l'antenne elle-même forme un cordon lumineux qui les réunit; le phénomène est d'une grande beauté.

Nous avons cherché à vérifier, dans les orages de l'été 1928, les con-

clusions de la théorie et des mesures exposées ci-dessus. Nous avons, dans ce but, visité les lieux foudroyés, dans la région du Sud-Ouest de la France. Nous avons fait auprès des habitants des enquêtes sur les circonstances des accidents, examiné avec soin la constitution géologique du sol dans les environs immédiats du point touché, effectué parfois des mesures de conductibilité de l'air. Il nous paraît utile de passer rapidement en revue quelques-unes de ces observations :

Le premier accident contrôlé par nous est la destruction par la foudre de l'Usine de Saint-Georges (Aude), le 17 avril 1928. Cet accident a été décrit dans une note précédente (1). La photographie ci-jointe montre la situation de l'Usine (fig. 6) à l'entrée des gorges de Saint-Georges, au pied d'une falaise de calcaire urgo-aptien, sur la ligne de contact de ce calcaire avec le schiste albien qui forme le bassin d'Axat. Il résulte, des renseignements un peu vagues qui me furent fournis, que la surtension qui provoqua l'incendie se produisit sur la ligne à basse tension partant de l'usine. Il ne nous a pas été possible de savoir où était tombée exactement la foudre, qui se manifesta par un éclair et un coup de tonnerre très violent. Quoi qu'il en soit, la position du lieu justifiait pleinement nos conclusions formulées en 1925. Un nouveau coup de foudre s'est produit à Saint-Georges le 18 juillet 1928; il a porté cette fois sur la haute tension; il montre que l'emplacement de l'usine est un lieu particulièrement dangereux.

Quelques jours après notre visite à Saint-Georges, nous avons fait une enquête sur le coup de foudre qui avait provoqué, au milieu de la rampe de Capvern (Hautes-Pyrénées), la rupture des feeders de la ligne de traction du chemin de fer électrifié de la Compagnie du Midi, dont j'avais été témoin le 12 juin 1927. Cet accident est décrit, comme le précédent, dans la note précitée; il vérifie de même les conclusions résumées plus haut. La coïncidence du lieu foudroyé avec une ligne de contact de deux terrains est particulièrement frappante, quand on regarde la carte géologique des environs de Capvern, que nous reproduisons ici (fig. 7). Le point foudroyé est marqué d'une croix, il se trouve exactement à l'intersection de la ligne du Chemin de fer et du contour d'une petite enclave des marnes grises du sénonien (crétacé supérieur), au milieu des argiles miocènes à cailloux roulés du Plateau de Lannemezan.

Le troisième accident contrôlé par moi provoqua la mort d'une femme, qui fut tuée dans son lit par la foudre le 3 juillet 1928 à Germ

(1) Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, tome 186, page 1565, 4 juin 1928.

(Hautes-Pyrénées). Ce village est situé à 1 300 mètres d'altitude dans la vallée du Louron. Il est éclairé par une ligne, qui vient de l'Usine de Loudenvielle à 3 kilomètres de distance et aboutit à un transformateur placé à l'entrée du village. Le secondaire du transformateur est relié au circuit d'éclairage, par des fusibles, qui furent fondus par le coup de foudre, de sorte que le transformateur ne subit aucun dom-

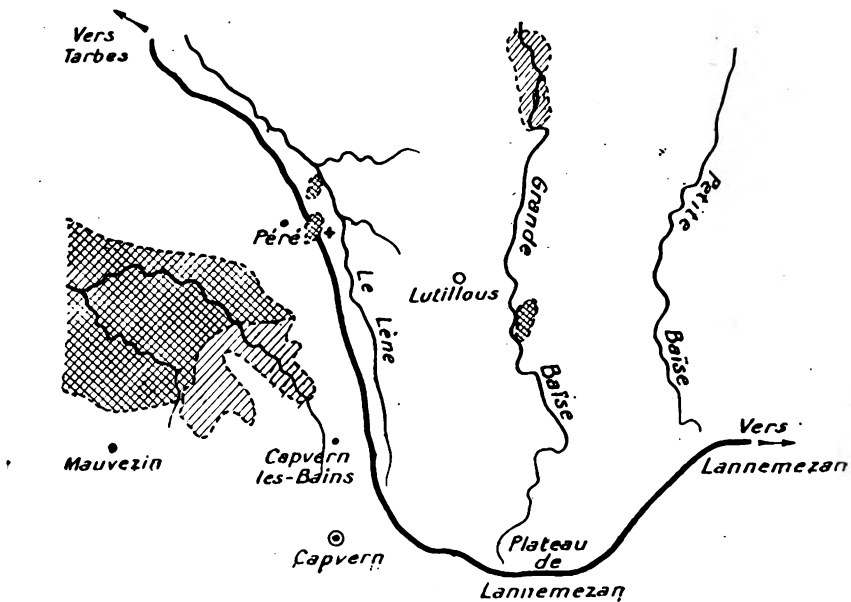


Fig. 7. — Carte géologique des environs de Capvern (Hautes-Pyrénées).

-  terrain non teinté : miocène ; argile ferrugineux à cailloux roulés.
-  céno-manien : calcaires.
-  sénonien : marnes grises.

mage et que les dégâts restèrent localisés sur la ligne à basse tension; ils étaient le plus marqués au voisinage de la maison où habitait la victime; cependant l'interrupteur qui se trouvait à la tête de son lit ne fût pas endommagé; dans une étable voisine, un pilier de bois, portant aussi un interrupteur, fut fendu depuis ce dernier jusqu'au sol; dans une autre maison, une femme qui repassait du linge à l'aide d'un fer électrique reçut une forte commotion, fut violemment projetée contre le mur et resta endolorie pendant plusieurs mois; en outre toutes les lampes du village furent grillées. Il ne fut pas possible de reconnaître le point précis où la foudre avait frappé; tous les accidents étaient dus

probablement à une surtension sur la ligne d'éclairage. Cette ligne était d'ailleurs en assez mauvais état et il n'y avait, ni à l'entrée des maisons, ni au transformateur aucun appareil de protection contre les surtensions. J'examinai sommairement la constitution géologique du sol. Le village est bâti sur un dépôt glaciaire enclavé entre deux massifs schisteux; au voisinage se trouve une mine de manganèse; c'est évidemment, d'après nos idées un lieu assez dangereux.

Au mois de novembre dernier, j'ai visité le village de Le Cuing, situé à une distance de 7 à 8 kilomètres nord-est de Montréjeau (Haute-Garonne). La foudre y produisit, le 1^{er} mars 1924, à l'entrée de la nuit, des accidents très curieux. Elle tomba à l'est du village sous la forme d'un éclair à deux branches, dont l'une frappa une maison et l'autre un chêne à quelques mètres de celle-ci. Les dégâts furent importants dans la maison : trois vaches furent tuées, un mur à moitié démoli, un jeune homme couché sur son lit reçut une forte commotion et s'évanouit. La décharge rencontra la canalisation de l'éclairage et suivit toute la ligne dans le village : elle blessa au pied un jeune homme, dans une maison située à 1 km environ du point de chute; dans une autre maison, elle renversa et commotionna fortement une jeune femme qui travaillait à côté d'une lampe électrique. Ce village est un lieu de prédilection marqué pour la foudre : au mois de septembre dernier, un autre accident s'y produisit déterminant un commencement d'incendie. Les coups de foudre sont aussi très fréquents dans les communes voisines; chez le maire de l'une d'elles, nous avons vu une installation électrique, ne servant plus depuis longtemps, qui avait porté la foudre et ses ravages aux quatre coins de la ferme; il y a aussi aux environs de nombreux arbres foudroyés. En outre, le territoire de toutes ces communes, qui touchent au Plateau de Lannemezan, est ravagé par la grêle presque tous les ans. La carte géologique rattache toute la région au miocène; l'argile à cailloux roulés y est, en effet, très apparente.

J'ai visité dans le courant de l'hiver un petit village du département du Gers (Tudelle, canton de Vic-Fezensac), qui est situé sur un des coteaux argilo-calcaires de l'Armagnac. Ce terrain (formation géologique lacustre) est divisé en plusieurs étages, dont les divisions sont marquées par de brusques dénivellations, généralement très apparentes. A Tudelle, l'étage supérieur forme un petit plateau sur lequel sont groupées les maisons du village. Ce plateau est entouré d'une enceinte naturelle (ligne de contact avec l'étage précédent) occupée par des arbres et une série de fossés remplis d'eau. Ces arbres sont souvent

foudroyés; au pied de l'un d'eux, une fillette fut tuée en 1927 par un coup de foudre, qui ricocha sur elle après avoir frappé l'arbre; le clocher, situé au milieu du plateau et beaucoup plus élevé que les arbres de l'enceinte, n'a jamais été foudroyé. Toute ceci montre nettement l'influence des lignes de contact. Le village doit être prochainement électrifié; l'emplacement primitivement prévu pour le transformateur se trouve à l'entrée du village, précisément sur le contour de l'enceinte dangereuse; c'est à mon avis un lieu très exposé; aussi, j'ai conseillé au maire de la commune qui m'accompagnait de choisir un autre emplacement.

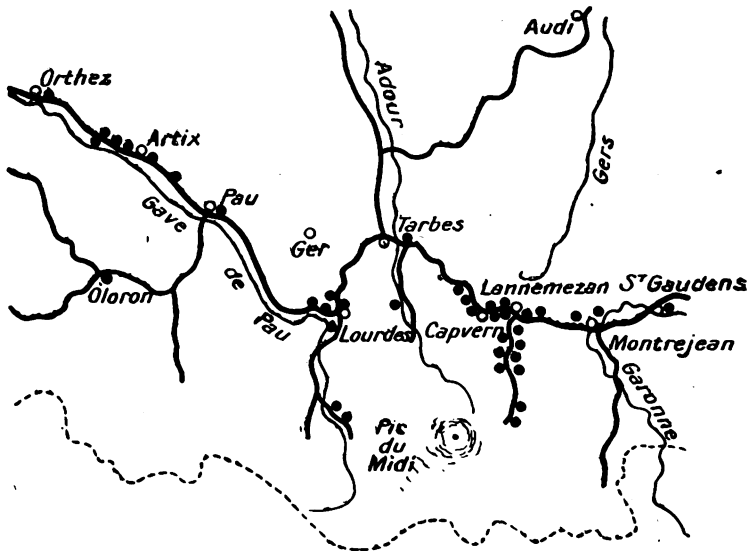


Fig. 8. — Carte de la ligne de Toulouse à Bayonne montrant la répartition des coups de foudre indiqués par des petits cercles noirs.

Un exemple très frappant qui montre bien la prédilection de la foudre pour certains lieux, pour certaines portions des lignes électriques, m'a été donné récemment par le relevé des coups de foudre sur la ligne électrifiée des Chemins de Fer du Midi qui va de Toulouse à Bayonne. La figure 8 montre leur répartition dans la partie de la ligne qui va de Saint-Gaudens à Orthez, depuis 1924, date de l'électrification. On voit que les accidents se groupent dans trois régions, qui sont en allant de l'ouest à l'est :

- 1° Les environs de la gare d'Artix (Basses-Pyrénées).
- 2° Les environs de Lourdes (Hautes-Pyrénées).
- 3° Le Plateau de Lannemezan et ses environs.

Les accidents les plus nombreux se trouvent sur le Plateau de Lanne-

mezan et dans les vallées qui en descendent. Nous devons remarquer que ce plateau est compris partiellement dans le territoire des communes fréquemment foudroyées et fréquemment grêlées dont nous avons déjà parlé. Il constitue donc un centre d'action vraiment remarquable dans la météorologie régionale; c'est pourquoi nous nous proposons de faire tous nos efforts pour découvrir les causes de son influence.

ROLE JOUÉ PAR LES LIGNES ÉLECTRIQUES.

Tous les exemples que nous avons cités montrent bien le danger croissant à l'égard de la foudre qui résulte de la multiplication des lignes électriques, et surtout de leur établissement défectueux.

Les accidents observés se partagent en trois catégories :

1° La ligne électrique est frappée directement par la foudre; celle-ci provoque alors, généralement, la rupture de la ligne au point frappé; dans les deux parties violemment séparées, des ondes de surtension d'une grande intensité sont transportées jusqu'aux appareils d'utilisation, situés dans les maisons, où des accidents très graves sont alors produits.

2° Au moment de l'orage, la ligne constitue un conducteur placé dans un champ électrique intense : elle se charge par influence électrostatique. Si un éclair se produit au voisinage, le champ est détruit brusquement, et la ligne se décharge tout aussi brusquement, donnant naissance à des ondes mobiles, étudiées par M. LEDOUX ⁽¹⁾, qui se propagent de part et d'autre de la région influencée. Les accidents qui en résultent sont de beaucoup les plus fréquents; ils peuvent se produire à des distances assez grandes des éclairs; ils sont d'autant plus graves que les éclairs éclatent plus près de la ligne. S'il se produit un coup de foudre à proximité immédiate de la ligne, l'induction électromagnétique ajoute son effet à l'influence électrostatique; une énergie plus grande est mise en jeu et l'intensité des effets se trouve augmentée.

3° Lorsque la foudre tombe sur un transformateur, il arrive souvent qu'une communication est établie entre le primaire et le secondaire, et que le courant à haute tension est ainsi dérivé dans le circuit d'utilisation à basse tension; celui-ci devient alors une source permanente de graves dangers, tant que le courant à haute tension n'est pas interrompu.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, tome XXII, novembre et décembre 1927.

Les accidents de la deuxième et de la troisième catégories, ainsi que le transport de la foudre par les lignes dans la première, ne se produiraient pas évidemment, si les lignes n'existaient pas; mais en laissant ces cas de côté, on peut se demander si les lignes électriques attirent la foudre, c'est-à-dire si la fréquence des coups de foudre directs en un lieu donné est augmentée ou non par la présence en ce lieu d'une ligne de transport d'énergie.

Il semble au premier abord que l'on puisse répondre par l'affirmative; en effet, l'influence électrostatique doit augmenter l'intensité du champ électrique entre le nuage orageux et le lieu considéré. Si l'on admet que la décharge éclate là où le champ est le plus intense, les chances de foudroiement seraient donc augmentées. Mais nous avons dit précédemment que l'intensité du champ et l'influence électrostatique étaient inopérantes pour déterminer la chute de la foudre sur les sommets des montagnes; il en est de même ici.

En outre, l'expérience a montré que des lieux très nombreux, qui jouissaient autrefois d'une sécurité parfaite à l'égard de la foudre, continuent à jouir de la même sécurité après qu'on y a placé une ligne électrique. L'attraction de la foudre par les lignes est donc le plus souvent négligeable. La fréquence des coups de foudre en un lieu donné, qu'il y passe ou non une ligne électrique, dépend avant tout de la constitution géologique du sol, comme nous l'avons établi. La ligne électrique sert simplement à mettre en évidence, à enregistrer les coups de foudre, mais elle le fait avec une fidélité et une intensité remarquables, et elle distribue les ravages sur tout son parcours.

Nous avons vu, dans les exemples précédents, que les lignes à basse tension sont frappées plus souvent que les lignes à haute tension. Ce fait a été remarqué par les ingénieurs électriciens, qui l'attribuent à l'isolement meilleur et à la construction plus soignée des lignes à haute tension. Ces dernières sont munies d'appareils protecteurs contre les surtensions; ces appareils font défaut presque toujours sur les lignes à basse tension, surtout dans les installations rurales, dont l'exploitation est peu rémunératrice.

L'électrification des campagnes, qui se poursuit activement dans toute la France, multipliera certainement les dangers, si des mesures très rigoureuses ne sont pas prises pour établir la sécurité. On devrait rendre obligatoires, dans des circonstances à déterminer, les dispositifs nombreux de protection imaginés par les électriciens; fil de terre, mise à la terre du point neutre, emploi de parafoudres, amortisseurs de surtension, etc...

MESURES A PRENDRE.

En réalité, il ne sera pas nécessaire, le plus souvent, de prendre de telles mesures sur toute l'étendue des lignes; on pourra les localiser dans les lieux dangereux dont il a été question ci-dessus. Il faudra placer en ces lieux des appareils puissants de protection, si la ligne existe déjà, ou si son tracé ne peut être modifié. Si la ligne n'est pas encore construite, on évitera autant que possible de la faire passer par ces lieux dangereux; on se gardera surtout d'y installer un poste de transformation.

Il semble donc qu'il soit de première importance, quand on fait le tracé d'une ligne électrique, quand on veut construire une nouvelle usine, de connaître les lieux dangereux dans le territoire où doit se faire l'installation. Certains ingénieurs électriciens nous ont suggéré l'idée de faire, pour notre région, la *carte des lieux dangereux pour la foudre et pour la grêle* (ce sont les mêmes à notre avis), comme l'on fait une carte géologique ou une carte magnétique. Ce serait là une œuvre d'un haut intérêt scientifique et d'une grande utilité pratique. Elle serait très réalisable : il suffirait de prendre une carte géologique et d'indiquer sur elle les lieux dangereux par un signe spécial; mais pour découvrir ces lieux, des enquêtes nombreuses et des investigations laborieuses sont nécessaires, ce qui exige du temps, du personnel, des ressources financières. Avec les moyens très limités dont nous disposons, nous voulons essayer de tracer cette carte pour la partie du département des Hautes-Pyrénées que nous habitons.

En attendant la réalisation de ce projet, il serait prudent de faire, dans chaque installation particulière, l'étude préalable des lieux, au point de vue qui nous occupe. *Nous recommandons fortement aux électriciens de consulter avant tout la carte géologique*, de déterminer la constitution géologique et minéralogique du terrain choisi. Ils feront ensuite avec profit une enquête sur les coups de foudre, sur les chutes de grêle qui s'y sont produits; ils examineront si les arbres qui s'y trouvent portent les marques caractéristiques laissées par la foudre; enfin, ils mesureront à plusieurs reprises la conductibilité de l'air et la radio-activité du sol.

Conclusions. — J'ai cherché à découvrir le mécanisme de l'orage, la production de la foudre, la formation de la grêle, tels qu'ils résultent des connaissances scientifiques actuelles et de nos propres recherches.

J'ai montré le rôle des lieux dangereux, dont la situation dépend de la constitution géologique du sol, et où les ions négatifs sont produits en abondance. Nous avons vu comment la foudre est attirée de préférence dans ces lieux dangereux, comment la grêle prend naissance au-dessus d'eux. J'ai dit qu'il faut rechercher ces lieux dangereux, pour les éviter dans le tracé des lignes électriques nouvelles, pour découvrir autour d'eux, dans l'air et dans le sol, le secret de leur action néfaste. Par cette recherche, nous arriverons à une connaissance plus approfondie des phénomènes électriques de l'atmosphère, et nous pourrons donner plus de sécurité aux installations.

A la suite de la présentation de cette Conférence devant le groupe de Toulouse de la Société Française des Electriciens et sur la proposition de M. JUPPONT, Président, M. CAMICHEL a proposé à l'assemblée d'émettre le vœu :

- 1° Que soient concentrées à l'Observatoire du Pic du Midi, à Bagnères de Bigorre (Hautes-Pyrénées), tous les renseignements sur les accidents causés par la foudre, la grêle et les orages, dans toute la France.
- 2° Qu'une propagande active soit faite auprès des pouvoirs publics, des Compagnies de traction électrique, des Sociétés de production et de distribution d'énergie, des Sociétés techniques et des Sociétés d'agriculture, en vue de la réalisation de ce centre de documentation, si étroitement lié à la prospérité nationale.

M. DAUZÈRE remercia l'Assemblée et déclara se tenir à la disposition des intéressés, auxquels il se fera un plaisir d'envoyer sur demande, l'énumération des renseignements à lui fournir.

ETUDE SUR LES PROJECTEURS DE LUMIÈRE A MIROIR PARABOLIQUE. PRINCIPES APPLICABLES AUX PROJECTEURS D'AUTOMOBILES (1).

Par J. DOURGNON,

Ingénieur à la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage,

et P. WAGUET

Ingénieur au Laboratoire Central d'électricité.

La théorie des projecteurs a donné lieu à un certain nombre de travaux très importants au premier rang desquels il convient de citer ceux publiés par M. André BLONDEL en 1893 (2) et qui doivent être considérés comme la base de toute étude approfondie de ces questions. Mais il est possible, en ce qui concerne plus spécialement les projecteurs d'automobiles d'expliquer le principe de leur fonctionnement en partant de considérations extrêmement simples, n'exigeant que des connaissances optiques élémentaires. Il nous a semblé qu'il pourrait être intéressant pour les constructeurs et les usagers de réunir dans un bref exposé un certain nombre de notions qui se trouvent éparses ou implicitement contenues dans les diverses études publiées à ce sujet.

Pour ce travail, nous avons cherché à nous inspirer des mémoires les plus récents, notamment ceux de Frank BENFORD (3) aux Etats-Unis, de RYDES et YATES (4) et de JOLLEY (5) en Angleterre, qui dépassent de beaucoup le cadre volontairement restreint de notre rapport.

(1) Ce rapport a été présenté par M. DOURGNON à la 5^e semaine de Discussions de la Société, le mardi 23 octobre 1928.

(2) André BLONDEL, *Théorie photométrique des projecteurs*. L'industrie électrique, 1893, vol. II, pages 517 et 541.

André BLONDEL, *Théorie des projecteurs électriques*. Lille, 1894.

(3) Frank BENFORD, *Studies in the projection of light*. General electric Review, 1923, vol. XXVI pages 75, 230, 280, 624, 780, 818 ; 1924, vol. XXVII, pages 199, 252, 504, 625, 698, 749, 830 ; 1925, vol. XXVIII, pages 193, 526, 866 ; 1926, vol. XXIX pages 199, 511, 728, 873.

(4) J.-W. RYDE et D.-E. YATES, *The divergence of beams from parabolic reflectors*. Rapport présenté à la VII^e Session de la Commission internationale de l'Eclairage, Saranac Inn, sept. 1928.

(5) L.-B.-W. JOLLEY, *The Automobile headlight problem*. Rapport présenté à la réunion des Comités de la Commission internationale de l'Eclairage, Bellagio, sept. 1927, reproduit dans *The Illuminating Engineer*, vol. XXI, 1928, page 79.

L.-B.-W. JOLLEY, *The Automobile headlight and its standardization chiefly with reference to the linear filament*. Rapport présenté à la VII^e Session de la Commission internationale de l'Eclairage, Saranac Inn, Sept. 1928.

PRÉLIMINAIRES.

Quand on étudie des sources lumineuses d'une certaine dimension, principalement des projecteurs, on s'aperçoit que la notion d'intensité dans une direction donnée perd souvent son sens précis, ce qui rend les raisonnements particulièrement délicats. Considérons, par exemple, un miroir parabolique avec une source ponctuelle au foyer ; tous les rayons réfléchis étant parallèles, l'éclairement moyen sur un écran perpendiculaire à l'axe est indépendant de la distance de l'écran au miroir. Il en résulte que la loi en raison inverse du carré de la distance n'est pas vérifiée. Ce fait paradoxal ne se réalise jamais en pratique, puisqu'on n'y peut évidemment pas faire usage de sources véritablement ponctuelles. Il y aura donc toujours une certaine divergence et cette divergence, aussi faible qu'elle soit, suffit pour lever la difficulté.

Considérons d'abord une source non ponctuelle, d'une façon générale l'éclairement produit en un point A de l'espace est

$$E_A = \int \int \frac{B \cos \theta \, d\sigma}{r^2},$$

B étant la brillance dans la direction du point A d'un élément de la source de surface apparente $d\sigma$, r la distance du point A aux différents éléments et θ l'angle que forment les différents rayons lumineux avec la normale à la surface sur laquelle on détermine l'éclairement. Si le point A est suffisamment éloigné pour que r et θ puissent être considérés comme constants, on peut écrire

$$E_A = \frac{\cos \theta}{r^2} \int \int B d\sigma.$$

L'éclairement est donc égal à celui que produirait une source ponctuelle située à une distance r et dont l'intensité I_A dans la direction envisagée serait

$$I_A = \int \int B d\sigma.$$

Dans le cas des projecteurs le problème se complique encore, ainsi que nous allons le voir.

Prenons une source primaire de brillance uniforme B et rayonnant suivant la loi de Lambert. Considérons tous les points d'un miroir qui réfléchissent un rayon passant par A, ils recouvrent une certaine portion de la surface qui seule paraîtra lumineuse. La brillance en chaque point de cette portion utile de miroir est égale à kB , k étant un facteur qui, dans le cas des projecteurs d'automobiles, pourra être considéré

comme égal au facteur de réflexion ρ du miroir. Nous pourrions donc, d'après le raisonnement précédent, calculer l'intensité réfléchie au moyen de la formule

$$I_A = \rho B \Sigma_A, \quad [4]$$

Σ_A étant la surface apparente de la *zone active* du projecteur pour le point A considéré, laquelle zone active se déforme quand le point A se déplace.

En fait, le facteur de réflexion ρ varie légèrement avec l'inclinaison des rayons incidents; on tourne la difficulté en prenant une valeur moyenne. Si l'on augmente les dimensions de la source, celles de la tache augmenteront jusqu'à ce que celle-ci couvre entièrement le réflecteur; à ce moment, l'intensité dans la direction considérée n'augmentera plus avec les dimensions de la source, mais seulement avec sa brillance. L'effort des constructeurs devra donc généralement tendre à rendre cette brillance la plus grande possible; toute augmentation de l'intensité de la source entraînant une augmentation proportionnelle de la surface sera sans aucun intérêt à ce point de vue.

Il était utile, croyons-nous, de rappeler ces notions que les paragraphes suivants rendront plus concrètes.

THÉORIE DU MIROIR PARABOLIQUE AVEC SOURCE SPHÉRIQUE AU FOYER

Tout le monde connaît le principe des projecteurs à miroir parabolique: les rayons émis par une source ponctuelle placée au foyer sont réfléchis parallèlement à l'axe du paraboloïde. Le flux que la source envoie dans le réflecteur est émis dans un angle solide d'une certaine ouverture; il est réfléchi dans un angle solide d'ouverture nulle, puisque les rayons sont parallèles. Il en résulte que l'intensité lumineuse suivant l'axe est infinie, si celle de la source est finie.

Pour lever cette contradiction déjà signalée, nous avons vu qu'il était nécessaire de faire intervenir les dimensions de la source. Comme il ne s'agit pas de faire ici une étude mathématique rigoureuse, mais seulement d'indiquer l'allure des phénomènes, nous supposerons que la source lumineuse est une sphère, de rayon r , dont le centre coïncide avec le foyer du paraboloïde. En outre, nous admettrons, ainsi que nous l'avons déjà fait, que la brillance B de chaque élément de surface de la source est la même pour tous les angles d'émission et que le facteur de réflexion ρ du miroir ne dépend pas de l'angle d'incidence.

Considérons un point P quelconque du miroir sur lequel tombe un

pinceau cône de rayons (fig. 1); ce pinceau sera réfléchi suivant un cône de même ouverture $2e$ et dont l'axe sera parallèle à l'axe du

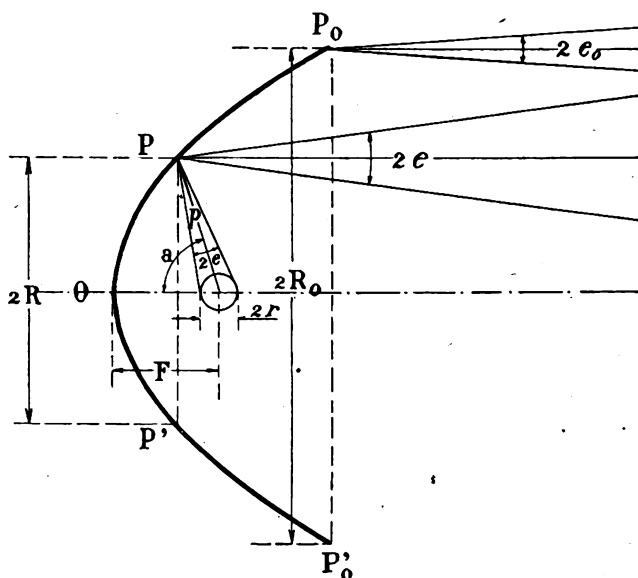


Fig. 1. — Schéma d'une source sphérique placée au foyer d'un miroir parabolique.

miroir. Vue du point A où la génératrice de ce cône de lumière coupe l'axe (fig. 2), la tache brillante aura la forme d'un cercle de dia-

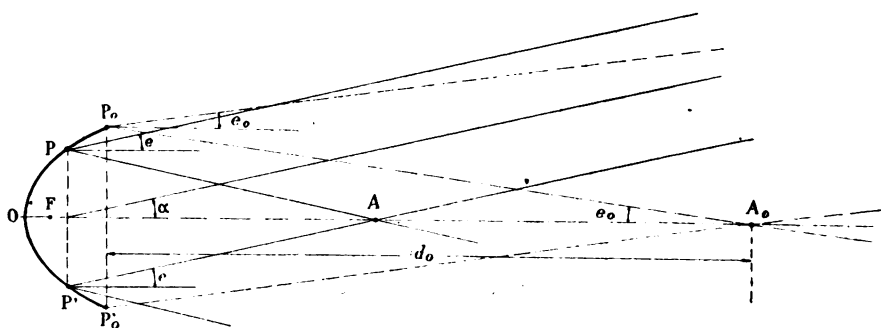


Fig. 2. — Marche des rayons réfléchis sur un miroir parabolique.

mètre PP' . A partir du point A_0 le miroir entier sera utilisé; l'intensité lumineuse restera donc constante si l'on se déplace sur l'axe au delà de ce point. Nous appellerons cette intensité *l'intensité sur l'axe à l'infini*; elle a pour valeur d'après l'équation [1]

$$I_0 = \pi R_0^2 B, \quad [2]$$

R_0 étant le rayon du réflecteur. Le point A_0 est à une distance

$$d_0 = \frac{R_0}{\operatorname{tg} e_0}$$

de l'ouverture du projecteur, e_0 désignant la demi-ouverture du pinceau réfléchi au point P_0 situé sur le pourtour du réflecteur. Ce ne sera qu'au delà de ce point qu'on pourra appliquer d'une façon correcte la loi de l'inverse du carré de la distance au calcul de l'éclairement sur l'axe et à condition, bien entendu, que le diamètre du miroir soit négligeable par rapport à la distance à laquelle on se trouve.

Inversement, on ne pourra déduire l'intensité de la mesure de l'éclairement en un point de l'axe, que si ce point est situé à une distance supérieure à d_0 . Ce n'est qu'à cette condition que la quantité calculée a un sens bien défini et l'on s'exposerait à commettre des erreurs qui pourraient être très importantes dans certains cas si l'on se tenait à des distances plus rapprochées.

Le produit du facteur de réflexion ρ de la surface réfléchissante par le rapport de la surface apparente Σ du miroir à celle σ de la source est le facteur de multiplication du projecteur

$$m = \rho \frac{\Sigma}{\sigma}.$$

C'est le nombre par lequel il faut multiplier l'intensité uniforme de la source pour obtenir l'intensité réfléchie sur l'axe du projecteur.

L'ouverture $2e$ du pinceau réfléchi varie avec la position du point d'incidence P dont les coordonnées sont représentées par l'angle α et le rayon vecteur p . Il est d'ailleurs facile de constater que e diminue d'une façon continue quand α augmente. Comme dans la plupart des cas l'angle e est petit, on pourra confondre la tangente avec l'arc et poser $e = \frac{r}{p}$. A l'infini, dans toute direction faisant avec l'axe un angle α plus petit que e_0 , l'intensité sera la même que sur l'axe puisque la totalité du miroir est active ; dans une direction plus inclinée, seule une portion de miroir est utilisée : c'est un cercle PP' , de rayon R , tel que pour les points de sa circonférence on ait $e = \alpha$. L'intensité dans cette direction sera donc celle sur l'axe d'un miroir ayant ce rayon ; son expression en fonction de l'angle e s'établit en remplaçant R dans la formule

$$I = \pi \rho R^2 B,$$

par sa valeur tirée de l'équation classique

$$p = F + \frac{R^2}{4F},$$

F désignant la distance focale du miroir. On obtient alors :

$$I = 4\pi\rho BF^2 \left(\frac{r}{Fe} - 1 \right). \quad [3]$$

La courbe de répartition de l'intensité lumineuse dans le faisceau (fig. 3), sera formée :

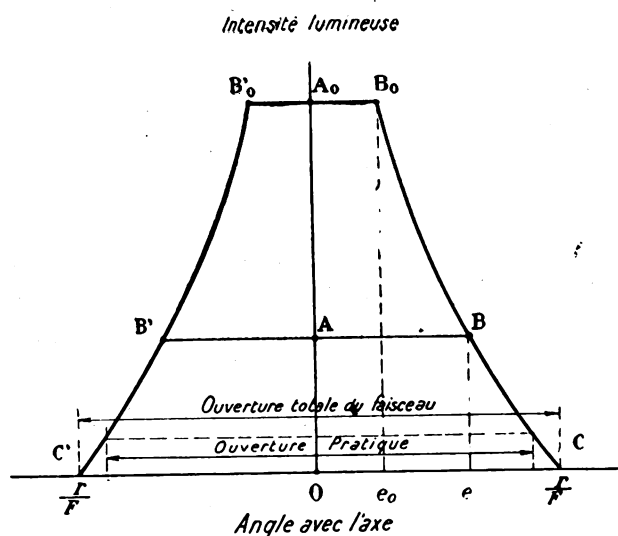


Fig. 3. — Allure de la courbe de répartition lumineuse d'un miroir parabolique ayant en son foyer une source sphérique de brillance uniforme.

1° d'une partie rectiligne $B_0A_0B_0$ représentant dans l'angle $2e_0$ l'intensité maximum donnée par l'équation [2] ;

2° de deux arcs d'hyperbole B_0C et B'_0C' représentés par l'équation [3].

Ce n'est évidemment qu'une courbe théorique qui suppose une source lumineuse sphérique, un miroir et un centrage parfaits, conditions qui ne se rencontrent jamais pratiquement ; aussi, le tracé de cette courbe ne dispensera jamais de faire directement des mesures qui exigent d'ailleurs des précautions particulières sur lesquelles nous ne nous étendrons pas ⁽¹⁾.

De ce qui précède, on peut tirer les conclusions suivantes, qui sont d'ailleurs bien connues :

1° L'intensité sur l'axe dépend de la brillance de la source, du diamètre du réflecteur et de son facteur de réflexion.

(1) Voir en particulier : J.-W.-T. WALSH. *The photometry of projection apparatus*. Proceedings of the optical Convention, Part I, 1926, p. 378 ; reproduit dans *Collected Researches of The National Physical Laboratory*, Vol. XX, 1927, p. 359.

Nous avons déjà insisté sur le premier point de cette proposition, aussi nous n'y reviendrons pas. Le deuxième point nous montre que des réflecteurs paraboliques de même diamètre, mais d'ouvertures angulaires différentes, dans lesquels on aurait placé des sources de brillance égale, donnent la même intensité maxima, seulement la répartition des intensités dans le faisceau y est nettement différente, ainsi que le montrent les courbes de la figure 4.

Remarquons que l'intensité sur l'axe est indépendante du flux émis

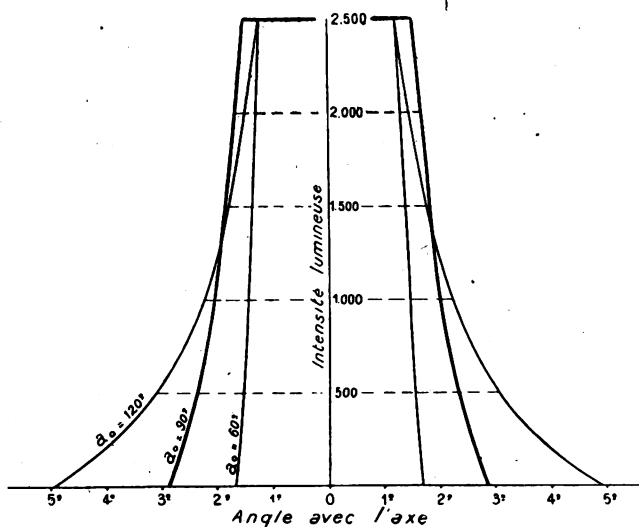


Fig. 4. — Courbes de répartition lumineuse de trois miroirs paraboliques ayant le même rayon et dont les demi-angles d'ouverture sont respectivement égaux à 60, 90 et 120°. Le rayon des miroirs a été choisi égal à 100 et celui de la source à 2,5.

par la source. Cela tient à ce que nous avons fait notre raisonnement en nous plaçant dans l'hypothèse d'un miroir parabolique exempt d'aberrations de construction. Celles-ci ayant pour effet de substituer au foyer unique un ensemble de foyers, il est évidemment nécessaire que la source enveloppe tous les foyers pour que la surface totale du miroir soit utilisée. L'intensité sur l'axe du projecteur augmente avec celle de la source tant que cette dernière ne recouvre pas entièrement les aberrations. Mais, dès que cette condition se trouve remplie, l'effet d'une augmentation d'intensité de la source ne porte plus alors que sur l'ouverture du faisceau.

2° L'ouverture du faisceau croît quand le diamètre de la source augmente et quand la distance focale diminue.

En effet, l'ouverture totale du faisceau ou divergence est égale au

double de l'angle que forment avec l'axe les rayons les plus déviés. Celle-ci est donc donnée en radians par la formule :

$$\theta = \frac{2r}{f} \quad [4]$$

ou en degrés :

$$\Delta = 57,3\theta.$$

A ce sujet, il convient de remarquer que l'ouverture du faisceau qui est définie en théorie d'une manière précise, est très difficile à déterminer expérimentalement, la tache projetée sur un écran n'étant jamais à bord net. On admet par convention que l'ouverture pratique du faisceau est l'angle dans lequel l'intensité ne descend pas au-dessous du dixième de la valeur maximum. L'expérience a montré que l'ouverture calculée et l'ouverture mesurée étaient le plus souvent sensiblement les mêmes.

On peut rechercher la profondeur à donner à un réflecteur de diamètre imposé pour avoir dans le plus grand angle possible la même intensité que sur l'axe. On trouve alors que l'ouverture angulaire simple du miroir doit être égale à 90° , ce qui correspond à la valeur 4 pour le rapport du diamètre à la distance focale.

Si l'on accroît l'ouverture du miroir au delà de cette valeur, l'intensité maxima se répartit dans un angle plus petit, alors que le flux utilisé et l'ouverture totale du faisceau augmentent : on obtient un faisceau *moins homogène*.

Dans chaque application, on choisit l'ouverture angulaire la plus favorable (1), si elle n'est pas déjà imposée par la nature et la forme de la source lumineuse.

Pour les projecteurs d'automobiles, il y a intérêt à avoir des faisceaux assez ouverts, le rapport précédent est généralement compris entre 5 et 10.

3° Si la source est de forme quelconque, l'intensité *sur l'axe* reste indépendante de cette forme tant que le foyer se trouve à l'intérieur de la source, ou pour parler d'une façon plus précise, tant que toutes les droites passant par le foyer et atteignant la surface du miroir rencontrent un point de la source.

Mais la forme et les dimensions de la source ont, au contraire, une influence notable sur la répartition lumineuse en dehors de

(1) Voir à ce sujet : André DARGENTON, *Note sur l'effet utile des appareils de projection*. Revue d'optique, 1928, 7^e année, page 109.

l'axe. Le problème a été traité mathématiquement dans un certain nombre de cas particuliers. Ne désirant ici qu'expliquer l'allure des phénomènes, nous ne citons ces analyses que pour mémoire. Elles ont toutes d'ailleurs, l'inconvénient de ne s'appliquer que de fort loin au cas des filaments des lampes à incandescence ; elles supposent qu'on peut remplacer ces sources complexes par une source schématique de forme géométrique simple dont la surface envelopperait les masses incandescentes réelles, mais alors il devient nécessaire de définir la brillance de cette nouvelle source et nous ne voyons pas trop comment on peut le faire d'une façon convenable.

4° Un corps opaque placé devant le projecteur ne produit pas d'ombre car, par les points de son contour, passent des faisceaux de rayons d'une certaine ouverture : à partir d'une distance suffisante les rayons se coupent et l'ombre disparaît. Les armatures de fixation des lampes ne présentent donc que l'inconvénient d'absorber une certaine portion du flux projeté.

Ce phénomène se produit d'ailleurs pour deux points conjugués dans tout système stigmatique. On sait, par exemple, que si l'on obture une portion d'une lentille, on ne fait que réduire la brillance de l'image sans modifier ses dimensions ou son aspect, cela tient à ce que chaque portion de la lentille envoie un cône éclairant toute l'image. Cette remarque amène à faire la distinction essentielle entre les systèmes dans lesquels chaque portion de l'optique travaille d'une manière identique et où l'introduction des dimensions de la source est à la fois une nécessité théorique et une nécessité pratique puisqu'elle seule conditionne les caractéristiques du faisceau projeté, et les systèmes dans lesquels chaque portion travaille différemment et où la considération des dimensions de la source ne conduit qu'à une correction, restant bien entendu qu'un système donné peut fort bien participer également des deux principes précédents.

5° Revenons maintenant à la source sphérique et cherchons à déterminer l'excentrement limite pour lequel l'intensité sur l'axe reste la même que pour un centrage parfait. Seuls seront réfléchis dans une direction parallèle à l'axe, les rayons émis par la source passant par le foyer. La zone utile du miroir dans la direction de son axe est donc limitée par l'intersection du paraboloïde avec le cône tangent à la source et ayant le foyer pour sommet. Pour que tout le miroir soit utile, c'est-à-dire justement pour que l'intensité sur l'axe ne soit pas modifiée par l'excentrement, il faut que les droites passant par le

foyer et qui s'appuient sur les bords du miroir rencontrent la source. On se rend compte que l'excentrement dans la direction de l'axe compatible avec l'obtention d'un faisceau homogène est très réduit et qu'il ne doit pas dépasser la valeur du rayon de la source pour un miroir ayant une ouverture angulaire simple supérieure à 90° , c'est-à-dire pour tous les réflecteurs interceptant un flux important et ayant un faisceau assez ouvert.

EXFOCALISATION DE LA SOURCE.

Imaginons qu'une source ponctuelle soit placée en avant du foyer. Dans ce cas, tous les rayons convergent vers l'axe pour diverger ensuite. L'angle ϵ (fig. 5) varie avec l'angle a : il est nul pour le

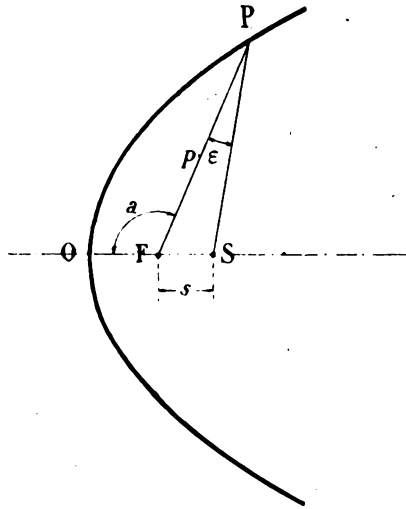


Fig. 5. — Représentation schématique d'une source ponctuelle placée en avant du foyer d'un miroir parabolique.

sommet du paraboloïde, passe par une valeur maximum quand l'angle a est voisin de 60° ⁽¹⁾ et diminue ensuite à mesure que l'ouverture angulaire augmente.

Il en résulte que les rayons réfléchis ont des inclinaisons différentes qui dépendent du point que l'on considère sur la parabole. Nous analyserons sommairement l'allure de quelques phénomènes qu'il est

(1) Nous démontrerons un peu plus loin cette proposition.

facile de constater. Les rayons émanant du pourtour RR' du réflecteur (fig. 6) se croisent en un point A de l'axe; ceux provenant de la région QQ' , où l'angle ε est maximum, convergent au point B ; enfin, les rayons venant du voisinage du sommet O rencontrent l'axe en un point C situé à une distance $\frac{F^2}{s}$ du foyer (1).

Tous les rayons se réfléchissant sur la calotte QQQ' coupent l'axe entre B et C et forment un faisceau divergent YBY' ; au contraire, tous ceux réfléchis sur la zone $RQR'Q'$ rencontrent l'axe entre A et B et restent compris entre les cônes XAX' et YBY' . Il résulte une accumulation de lumière dans cette région du faisceau et une diminution concomitante brusque de l'intensité sur l'axe au point A . La région centrale XAX' du faisceau semble obscure par contraste avec celle qui

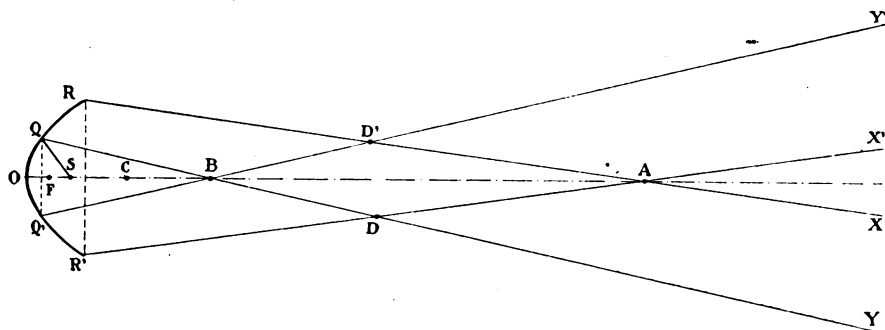


Fig. 6. — Faisceau produit par une source ponctuelle exfocalisée en avant.

l'entoure : c'est le « trou noir », bien connu des automobilistes. On pourra observer ces divers aspects du faisceau en le recevant sur un écran qu'on éloignera de plus en plus du projecteur.

Nous remarquerons encore, que si l'on réduit le diamètre du réflecteur, la divergence ne sera pas affectée tant que l'anneau QQ' n'aura pas été enlevé.

Supposons maintenant que le point lumineux soit placé en arrière du foyer (fig. 7). Tous les rayons s'écartent de l'axe avec des inclinaisons différentes. Ici encore, l'ouverture du faisceau est donnée par les rayons qui émanent de l'anneau QQ' . Comme les rayons réfléchis sont immédiatement déviés en dehors de l'axe, on observera la tache noire tout près du projecteur et elle deviendra de plus en plus grande à mesure que le point lumineux se rapprochera du miroir.

(1) Le point de rencontre avec l'axe d'un rayon quelconque réfléchi sur le miroir est à une distance $\frac{p^2}{s}$ du foyer.

Cela étant, il est possible de tracer une courbe donnant la divergence en fonction de l'exfocalisation. On a :

$$\cotg \varepsilon = \frac{p \pm s \cos a}{s \sin a}, \quad [5]$$

le signe supérieur se rapportant à l'exfocalisation en avant, le signe inférieur à l'exfocalisation en arrière.

En tenant compte de l'équation

$$p = \frac{2F}{1 + \cos a},$$

cette formule devient

$$\cotg \varepsilon = \frac{1}{\frac{s}{2F} (1 + \cos a) \sin a} \pm \cotg a. \quad [6]$$

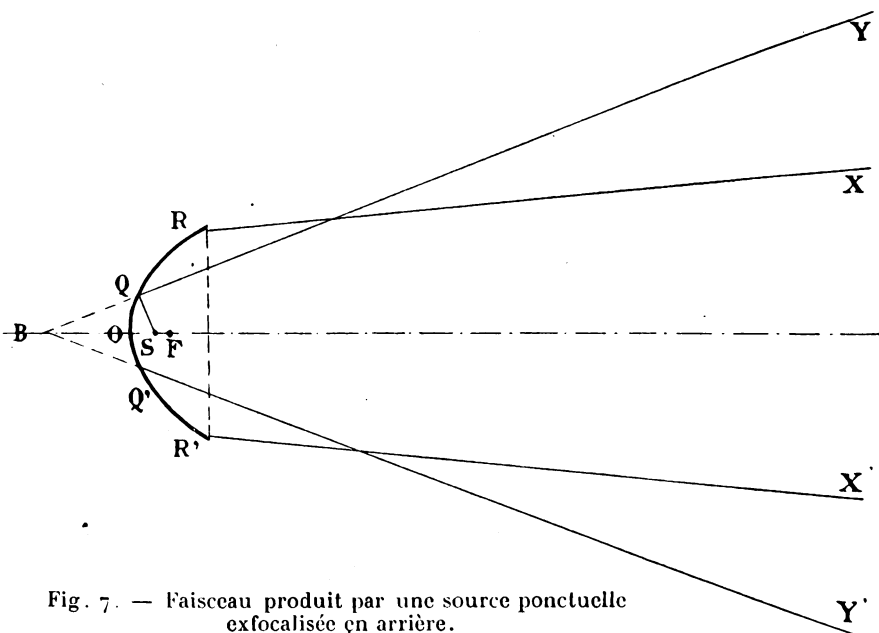


Fig. 7. — Faisceau produit par une source ponctuelle exfocalisée en arrière.

Si nous annulons la dérivée de cette expression par rapport à a , nous déterminons la valeur de a qui, pour chaque valeur de l'exfocalisation relative $\frac{s}{2F}$, fournit la divergence maximum. On trouve :

$$a_m = \arccos \frac{1 \mp \frac{s}{2F}}{2 \pm \frac{s}{2F}}. \quad [7]$$

Pour obtenir l'équation de la divergence maximum, il suffit de remplacer dans l'équation [6] la valeur de $\frac{s}{2F}$ tirée de l'équation [7].

On trouve alors :

$$\mp \theta = \pi - 3a_m. \quad [8]$$

Cette formule a été utilisée pour tracer la courbe AOB de la figure 8 qui est à la base des études sur les projecteurs d'automobiles.

Comme en pratique la divergence excède rarement 30° , il en résulte que l'angle a_m est compris entre 50° et 60° lorsque la source est en

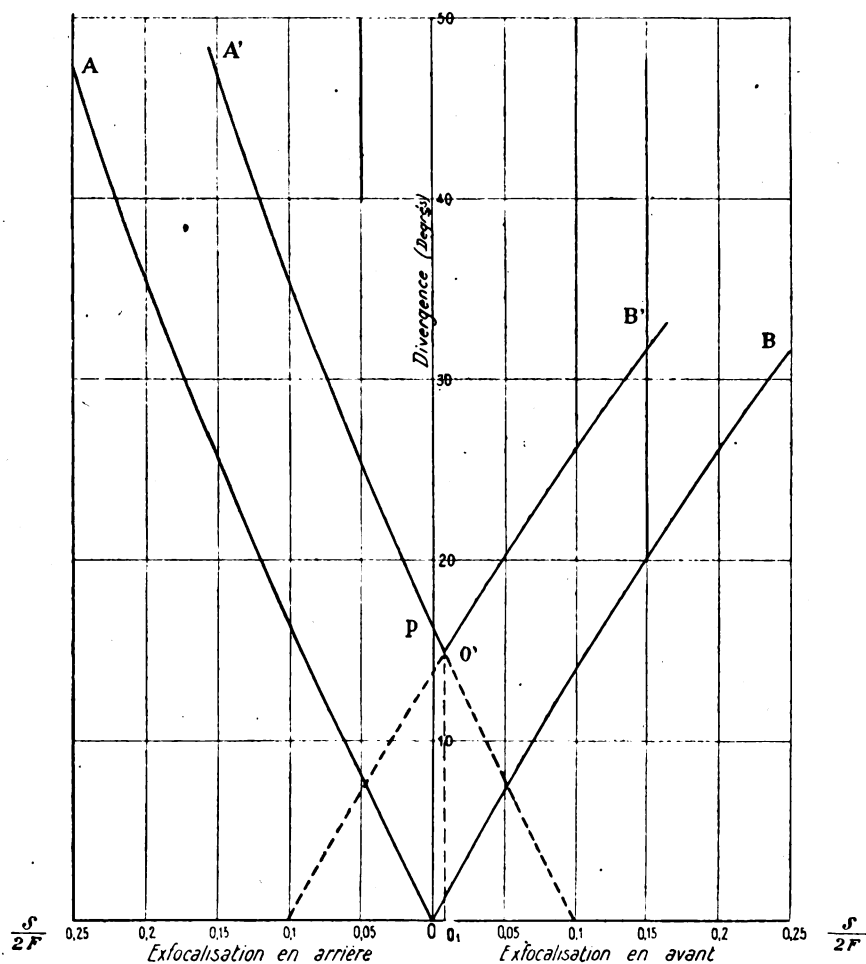


Fig 8. — Courbes de divergence : AOB pour une source ponctuelle exfocalisée sur l'axe ; A'O'B' pour une source linéaire de longueur $L = 0,4 F$ disposée sur l'axe. OP, divergence lorsque le centre du filament est au foyer ; O_1O' , divergence minimum lorsque la position du centre du filament est représentée par le point O_1 .

arrière du foyer, tandis qu'il est compris entre 60° et 70° lorsque la source est en avant du foyer.

Dans le cas d'exfocalisations assez faibles, on peut introduire une

simplification en négligeant dans l'équation [5] le terme $s \cos a$ devant p . Le point de divergence maximum peut alors être fixé à 60° et on a :

$$\theta = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} 1,3 \frac{s}{2F}. \quad [9]$$

Les formules ci-dessus sont établies en supposant un miroir infini, mais s'appliquent dans le cas de tous les miroirs dont la demi-ouverture angulaire a_0 est supérieure à l'angle a_m .

Dans le cas contraire, les rayons qui devraient constituer l'enveloppe du faisceau ne pouvant être réfléchis, la divergence est inférieure à celle indiquée par la formule [8]. RYDE et YATES (1) ont établi les corrections à apporter à la courbe de divergence. Sans vouloir entrer dans le détail de leurs calculs, nous nous bornerons à signaler que pour un miroir dont l'angle d'ouverture est de 40° , la correction est assez importante lorsque l'exfocalisation est en avant du foyer, mais qu'elle est négligeable lorsque l'exfocalisation est en arrière. Nous remarquerons d'ailleurs que dans les projecteurs électriques d'automobiles, les réflecteurs sont toujours suffisamment profonds pour que ce phénomène ne se produise pas.

Nous pouvons passer maintenant au cas pratique des projecteurs d'automobiles, dans lesquels une source linéaire est disposée axialement.

C'est l'extrémité du filament la plus éloignée du foyer qui donnera la plus grande divergence. La courbe A'O'B' (fig. 8) de divergence en fonction de $\frac{s}{2F}$, s représentant maintenant la distance du milieu du filament au foyer, s'obtiendra donc par une translation des branches AO et OB égale à $\frac{L}{4F}$, L étant la longueur du filament.

La divergence produite par un filament dont le centre est au foyer, est donnée par l'ordonnée OP. Pour un filament de faible longueur, cette divergence s'exprime par la formule

$$\theta = 0,65 \frac{L}{F}, \quad [10]$$

qu'on obtient à partir de la relation [9] dans laquelle on confond l'arc avec sa tangente.

Elle a encore pour valeur en degrés :

$$\Delta = 37,2 \frac{L}{F}.$$

(1) *Loc. cit.*

En outre, nous voyons que la divergence minimum du faisceau O_1O' s'obtient quand le centre du filament est à une petite distance OO_1 en avant du foyer. D'après RYDE et YATES cette distance est donnée par la formule

$$h = \frac{L^2}{16F},$$

et la valeur minimum de la divergence, en degrés, a pour expression

$$\delta = 36,8 \frac{L}{F},$$

à condition que L soit plus petit que F .

Les éléments de théorie qui précèdent permettent de déterminer avec une approximation suffisante, l'ouverture totale du faisceau, mais

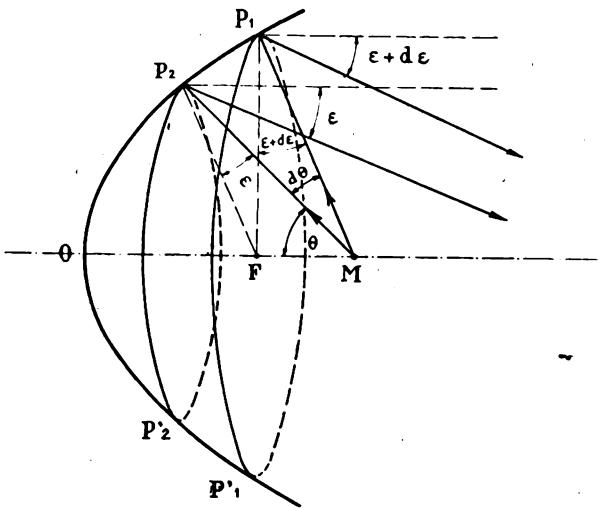


Fig 9. — Figure servant à l'étude de la répartition lumineuse dans le faisceau produit par une source ponctuelle exfocalisée sur l'axe.

ils ne permettent pas de rendre compte de la répartition des intensités dans ce faisceau. Montrons sommairement sur le cas le plus simple d'une source ponctuelle, comment on pourrait arriver à résoudre ce problème en n'utilisant que des notions élémentaires.

Considérons la portion infiniment petite du miroir $P_1P_2P'_2P'_1$ vue de la source M sous un angle solide $d\omega$ (fig. 9). Le flux que la source enverra sur cette portion sera $i d\omega$, i étant son intensité uniforme ; le flux réfléchi $\rho i d\omega$ sera renvoyé dans un angle solide $d\omega'$, l'intensité projetée dans une direction ϵ sera :

$$I_\epsilon = \rho i \frac{d\omega}{d\omega'}.$$

Nous avons :

$$\begin{aligned} d\omega &= -2\pi d(\cos \theta), \\ d\omega' &= -2\pi d(\cos \varepsilon), \end{aligned}$$

d'où :

$$I_{\varepsilon} = \rho i \frac{d(\cos \theta)}{d(\cos \varepsilon)}.$$

Il suffit alors d'exprimer $\cos \varepsilon$ en fonction de $\cos \theta$ pour trouver l'équation cherchée, mais les calculs sont assez longs, nous n'insisterons donc pas.

Nous avons parlé jusqu'ici d'un déplacement de la source le long de l'axe ; qu'arriverait-il si elle se trouvait déportée en dehors de lui ? La marche des rayons est extrêmement difficile à suivre, car les phénomènes n'étant plus de révolution, on ne peut plus se contenter d'étudier ce qui se passe dans un plan méridien.

ARTIFICES UTILISÉS POUR MODIFIER L'ALLURE DU FAISCEAU.

Avant de terminer nous parlerons encore de divers artifices utilisés pour augmenter l'ouverture du faisceau ou bien étaler celui-ci suivant une loi déterminée.

Nous remarquerons de suite que l'excentrement de la source ne permet pas de pousser très loin l'épanouissement du faisceau, ce moyen réduisant assez vite l'intensité relative sur l'axe et produisant rapidement le trou noir facile à constater avec les projecteurs d'automobiles mal réglés.

Pour obtenir les résultats désirés nous pouvons envisager trois autres solutions :

- 1° Emploi de sources de formes spéciales.
- 2° Emploi de portes en verre prismatique, lenticulaire ou diffusant, ou de lampes à ampoules dépolies.
- 3° Emploi de miroirs de forme spéciale.

Nous dirons seulement quelques mots des deux premiers cas, le troisième étant quelque peu en dehors du cadre de la présente étude.

On propose quelquefois pour étaler horizontalement le faisceau de ces appareils, d'utiliser des lampes à filament normal à l'axe du projecteur et passant par le foyer. On obtient en fait un faisceau aplati, mais plus près d'être de révolution que de forme méplate. Cela tient à ce que le faisceau d'un réflecteur parabolique est formé d'une infinité de faisceaux élémentaires issus des images du filament, lesquelles ont toutes des orientations différentes. On comprend ainsi que ces pinceaux se cou-

pent et détruisent l'effet que l'on escomptait. D'une façon générale il ne faut donc guère compter sur la forme de la source pour obtenir une forme de faisceau bien caractéristique, on peut simplement espérer une légère modification de la répartition lumineuse ainsi qu'un épanouissement général du faisceau consécutif à l'augmentation des dimensions de la source.

Les portes vitrées de nature ou de formes spéciales présentent certainement plus de souplesse, elles permettent l'emploi de véritables optiques destinées à fournir un contrôle rigoureux de la lumière. Les verres dépolis ou imprimés ouvrent simplement le faisceau en le rendant plus uniforme.

Considérons d'abord l'exemple d'un verre à stries rectilignes verticales et supposons qu'un faisceau de rayons parallèles tombe normalement sur cette glace. Il est bien évident qu'il ne saurait y avoir aucune déviation des rayons dans des plans parallèles aux cannelures; au contraire, celles-ci produiront des déviations dans le sens horizontal, le faisceau sera donc aplati.

Sur ce principe on a même imaginé un certain nombre de dispositifs qui permettent de modifier à volonté les caractéristiques d'un projecteur donné. Ils consistent dans l'emploi de deux glaces taillées et qui sont disposées de telle façon que l'on puisse soit faire varier leur distance, soit les faire glisser l'une par rapport à l'autre. L'ensemble de ces deux glaces forme alors un système optique qui peut devenir convergent ou divergent et ceci dans des directions et dans des proportions bien déterminées.

Arrivons maintenant au cas du verre dépoli. Chacun des points du verre recevra un cône de rayons et chaque rayon sera lui-même diffusé par le verre suivant une loi qui dépend de son inclinaison. On conçoit dans ces conditions la difficulté qu'on peut éprouver pour déterminer, a priori, la nouvelle distribution lumineuse. Tout ce que l'on peut dire c'est que la divergence du verre s'ajoutant à celle du faisceau projeté, augmente l'ouverture dans des proportions considérables et diminue dans des proportions encore plus grandes l'intensité sur l'axe.

DISPOSITIFS ANTIÉBLOUISSANTS APPLICABLES AUX PROJECTEURS D'AUTOMOBILES A MIROIR PARABOLIQUE DE RÉVOLUTION ⁽¹⁾

par J. DOURGNON,

Ingénieur à la Société pour le Perfectionnement de l'Éclairage

et P. WAGUET,

Ingénieur au Laboratoire Central d'Électricité

Les auteurs, après avoir donné un exposé d'ensemble de la question des projecteurs antiéblouissants, indiquent quelques dispositifs applicables aux appareils à miroir parabolique et les précautions à prendre dans leur emploi.

Au cours de leur rapport, les auteurs signalent l'effet d'éblouissement sur les conducteurs d'automobiles par certaines taches brillantes projetées devant la voiture. Ils montrent qu'une réglementation annexe de la répartition du flux lumineux dans le faisceau aurait pour conséquence d'écarter certains dispositifs qui, tout en étant conformes aux prescriptions actuelles, semblent néanmoins devoir être gênants pour le conducteur de la voiture ou pour l'usager rencontré.

On sait que le Code de la Route (décret du 31 décembre 1922, arrêté du 28 juillet 1923), prévoit deux systèmes d'éclairage ⁽²⁾.

1° Le dispositif A destiné à l'éclairage en route libre pour lequel aucune prescription limitative n'a été imposée en ce qui concerne l'éblouissement, et dont il ne sera pas parlé dans ce rapport.

2° Le dispositif B correspondant à la marche à la rencontre d'un usager de la route ; il est évident que le dit dispositif doit répondre à certaines conditions de non éblouissement et produire néanmoins un éclairage suffisant.

Le faisceau doit éclairer la route à 25 m en avant du véhicule sur une largeur de 5 m. A cette distance, l'éclairement vertical mesuré au ras du sol ne doit pas être inférieur à 2 lux dans l'axe de la route et à 1,5 lux à 2,50 m de chaque côté de l'axe ⁽³⁾.

(1) Ce rapport a été présenté par M. WAGUET à la 5^e semaine de Discussions de la Société, le mardi 23 octobre 1928.

(2) Voir à ce sujet le rapport présenté par M. Bossu à la 6^e session de la Commission internationale de l'éclairage (Genève, 1924). *L'éclairage des automobiles. Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4^e série. Tome IV, 1924, p. 935.

(3) Conditions actuellement exigées par la Commission des projecteurs d'automobiles nommée par le Ministre des Travaux publics. Cette commission est chargée d'examiner les dispositifs qui lui sont soumis en vue d'obtenir l'approbation ministérielle par application de l'art. 24 du décret du 31 décembre 1922.

La loi exige que l'éblouissement ne puisse se produire pour tout observateur dont l'œil est situé à une distance égale ou supérieure à 1,40 m d'un sol plan et horizontal, le critérium légal de non éblouissement étant le suivant : un observateur est censé n'être pas ébloui lorsqu'il n'a dans le champ visuel aucun point dont la brillance dépasse 1,5 bd/cm² (1).

Au point de vue *théorique*, cela revient à admettre, soit que l'œil de l'observateur se trouve en dehors du faisceau (le flux direct de la source étant supposé occulté) et alors l'œil ne perçoit *aucun* point brillant, soit que la brillance de la source se trouve être elle-même inférieure à 1,5 bd/cm², la brillance du miroir ne pouvant jamais être supérieure à celle de la source. Dans ce dernier cas on aurait le droit, en suivant la loi à la lettre, d'adopter n'importe quelle répartition du flux lumineux que l'on désire.

Pourtant, supposons qu'on ait deux réflecteurs de 25 cm de diamètre; des sources d'une brillance de l'ordre de 1,5 bd/cm² donneront à 25 m un éclairement voisin de 2,5 lux (2). Bien que conformes aux prescriptions officielles, de tels projecteurs, ayant chacun une intensité voisine de 750 bd, gêneraient certainement les usagers de la route venant en sens inverse et probablement personne ne voudrait reconnaître en eux des dispositifs antiéblouissants.

En fait, on peut fort bien *en pratique* se trouver en dehors du faisceau théorique et être ébloui, car les zones brillantes peuvent être dues au flux diffusé et au flux réfléchi dans une mauvaise direction, par suite de défauts dans le système optique.

La brillance dont il est question dans le texte de la loi est, en réalité, celle causée en certaines régions du miroir par ces phénomènes parasites.

Cette loi doit donc, nous semble-t-il, s'interpréter de la façon suivante : un dispositif ne sera pas réputé éblouissant quand l'œil de l'observateur sera en dehors du faisceau et quand les irrégularités du poli, les défauts de l'optique ou la diffusion produite par les glaces ou les dispositifs réfractants que l'on peut être amené à interposer sur le parcours du faisceau projeté seront tels qu'ils ne puissent produire pour le dit observateur des zones dont la brillance soit supérieure à 1,5 bd/cm², le flux direct de la source étant bien entendu occulté dans

(1) Art. 4 de l'arrêté ministériel du 28 juillet 1923.

(2) Ce dispositif pourrait se réaliser pratiquement en utilisant des lampes à ampoule en verre opalin.

la direction de l'observateur ou diffusé par un écran translucide de caractéristiques telles que sa brillance propre ne dépasse pas $1,5 \text{ bd/cm}^2$.

Pour obtenir un résultat convenable, il est donc nécessaire :

- 1° De disposer d'un dispositif théoriquement approprié.
- 2° De réaliser une construction et un poli qui permettent d'éviter ou, tout au moins, de maintenir dans des proportions admissibles les rayons parasites.

Remarquons d'ailleurs à ce sujet qu'il est souvent possible de pallier à certains défauts de fabrication au moyen de petits écrans convenablement disposés, soit sur la glace de la porte, soit même directement sur le miroir.

D'autre part, il est bien évident qu'une tache brillante apparaissant sur la surface du miroir seulement à petite distance (une dizaine de mètres par exemple), ne sera pas gênante pour l'usager venant en sens inverse, car l'action sur sa rétine sera de très faible durée en raison de la vitesse des véhicules.

Nous remarquerons, en outre, qu'un éclaircissement vertical de 2 lux au sol est insuffisant dans bien des cas pour voir nettement à 25 m un obstacle de couleur foncée, surtout lorsque le dispositif projette sur la route, à petite distance de la voiture, des taches extrêmement lumineuses ⁽¹⁾ susceptibles d'éblouir le conducteur.

Nous terminerons ce préambule en suggérant que le minimum d'éclaircissement de 2 lux, actuellement exigé à 25 m, pourrait être notablement relevé ⁽²⁾ et que la répartition du flux lumineux dans le faisceau pourrait être prise en considération. Elle permettrait de réglementer l'emploi des appareils dont l'intensité lumineuse apparente nous semble trop grande à 1,40 m au-dessus du sol et des appareils qui projettent des nappes éblouissantes devant la voiture.

Ceci étant, nous allons examiner quelques-uns des dispositifs basés sur le miroir parabolique de révolution qui permettent d'éclairer suffisamment la route sans éblouir les usagers venant en sens contraire. La fabrication des miroirs paraboliques n'offrant plus de difficultés particulières, il est naturel que les constructeurs, enclins à utiliser un outillage déjà existant, aient employé ces miroirs dans les projecteurs antiéblouissants avant même de rechercher des réflecteurs de courbures spéciales, mais de réalisation plus complexe.

(1) La brillance de ces taches est d'autant plus grande que le facteur de réflexion diffuse de la route est lui-même plus élevé.

(2) Cette valeur est souvent dépassée en pratique.

Il est d'ailleurs à remarquer que les dispositifs qui se sont montrés les plus efficaces jusqu'à ce jour comportent généralement un miroir parabolique de révolution. Certains systèmes utilisent à cette fin le miroir dans sa quasi intégralité, d'autres, au contraire, n'en utilisent qu'une faible fraction. On conçoit que ces dispositifs ne soient guère que des palliatifs et qu'on pourra escompter obtenir prochainement des résultats de beaucoup supérieurs avec des réflecteurs de courbure appropriée.

Paraboloïde de révolution incliné vers le sol.

La première idée qui vient à l'esprit pour éviter que le faisceau projeté atteigne l'œil de l'utilisateur venant en sens inverse, consiste à incliner l'axe du projecteur d'un angle au moins égal à la demi-ouverture du faisceau.

Nous donnons dans le tableau ci-dessous, pour un projecteur dont le centre est placé à 90 cm au-dessus du sol, les différentes inclinaisons correspondant aux distances où l'axe du faisceau rencontre le sol.

Distance à laquelle l'axe du faisceau rencontre le sol Mètres	Angle d'inclinaison vers le sol —
5	10°10'
10	4°40'
20	2°35'
30	1°45'
40	1°20'

Supposons que le faisceau ait une faible divergence; il suffit d'incliner son axe d'un angle très petit (2 ou 3 degrés) pour que la condition de non éblouissement soit remplie. La section du faisceau par le plan de la route donne lieu alors à une tache lumineuse de forme elliptique comprenant une région centrale intense, mais peu large, entourée d'un dégradé. L'éclairement est toujours considérable sur l'axe, mais il est souvent insuffisant sur les côtés. Cet inconvénient serait évité avec un faisceau de grande ouverture. Il peut donc paraître intéressant, à première vue, de chercher à accroître la divergence du faisceau ⁽¹⁾, mais alors il devient nécessaire d'incliner davan-

(1) Ce résultat pourrait s'obtenir en faisant usage de lampes à ampoule dépolie ou satinée.

tage le projecteur pour que sa brillance ne dépasse pas la valeur légale.

Lorsque le réflecteur est très fortement incliné (de 7° à 10°), un éclairement suffisant n'est généralement pas atteint à 25 m ; s'il est incliné d'un angle un peu moins grand (de 5° à 7°), l'éclairement de 2 lux peut être obtenu à 25 m, mais il se produit sur le sol, devant la voiture, une tache extrêmement brillante qui peut, ainsi que nous l'avons déjà expliqué, nuire à la visibilité (1).

Nous ajouterons que ce n'est toutefois pas un inconvénient particulier à ce procédé, car il se rencontre aussi dans un certain nombre de dispositifs antiéblouissants.

La solution du problème consiste donc à produire un faisceau méplat. A cet effet, on peut faire usage de lampes dont le filament est normal à l'axe du paraboloïde (2) ou, ce qui est préférable, fermer le miroir par une glace dispersante à cannelures verticales. On choisira un miroir de faible divergence propre, afin de n'avoir à incliner son axe que d'un petit angle. De cette façon, il est possible d'éclairer assez loin et large tout en satisfaisant à la condition de brillance.

Il faudra, bien entendu, utiliser des lampes à ampoule claire et masquer convenablement le filament; de même, les glaces dispersantes ne devront comporter aucune partie dépolie. L'emploi de ces glaces peut d'ailleurs, dans certains cas, améliorer l'éclairage normal de route, bien que la diminution consécutive de la profondeur du faisceau ait pu souvent être considérée comme un défaut.

Paraboloïde de révolution avec source lumineuse exfocalisée.

Un autre moyen de modifier les caractéristiques du faisceau consiste à exfocaliser la source.

Nous avons dit, dans notre précédent rapport, qu'une exfocalisation en dehors de l'axe augmentait la divergence du faisceau dans toutes les directions; de toute façon, elle donne lieu à un phénomène compliqué difficile à analyser et à contrôler, c'est ce qui explique pourquoi les essais tentés dans ce sens n'ont pas toujours fourni les résultats escomptés.

(1) Dans une expérience, l'éclairement vertical mesuré au ras du sol, à une distance d'environ 8 m d'un appareil incliné d'un angle de 6° , était de l'ordre de 1000 lux.

(2) Il n'en résulte toutefois qu'un faisceau insuffisamment aplati.

L'exfocalisation de la source suivant l'axe donne au contraire des résultats convenables.

Lorsque le filament est exfocalisé *en avant*, la partie supérieure du réflecteur renvoie les rayons vers le bas et la partie inférieure les renvoie vers le haut. Pour ne pas provoquer d'éblouissement, il est donc nécessaire d'arrêter ces rayons au moyen d'un écran obturant la partie inférieure de la glace. On peut aussi empêcher l'émission vers le bas des rayons de la source se dirigeant vers le miroir, soit en les absorbant au moyen d'un écran en forme de coupelle, soit en les réfléchissant sur un miroir généralement constitué par une argenteure sur l'hémisphère inférieur de la lampe. Enfin, on peut encore diffuser les rayons de la source sur la parabole elle-même qui est alors dépolie sur sa partie inférieure suivant un contour déterminé.

Comme on le voit, c'est seulement la portion supérieure du miroir qui est active dans ces divers dispositifs.

L'exfocalisation doit être établie en tenant compte de la distance focale du réflecteur de façon que le faisceau soit convenablement rabattu et suffisamment étalé ⁽¹⁾. Si l'exfocalisation est trop grande, elle crée une tache noire au centre ce qu'on évitera, dans le cas du filament axial, en faisant en sorte qu'une extrémité de ce filament soit assez voisine du foyer.

Mais on conçoit que le réglage de cette extrémité du filament doive se faire avec une grande précision. Comme un réglage de lampe laissé à la disposition de l'utilisateur risquerait le plus souvent d'être mal effectué et par conséquent d'être susceptible de provoquer l'éblouissement, les règlements en vigueur n'admettent que des projecteurs sans dispositif de réglage et ils exigent l'emploi de lampes rigoureusement interchangeables ⁽²⁾.

Lorsque le filament est exfocalisé *en arrière*, la partie inférieure du réflecteur renvoie les rayons vers le sol et la partie supérieure, vers le haut. Ce sera par conséquent sur la partie supérieure de la glace qu'on placera l'écran. Cette disposition a l'avantage de donner au faisceau une ouverture un peu plus grande que celle produite par une égale exfocalisation en avant.

(1) On peut encore élargir le faisceau et lui donner de l'homogénéité au moyen d'une glace à stries verticales.

(2) Ceci est devenu possible depuis que l'industrie de la lampe pour projecteurs d'automobiles dispose de machines précises permettant en certains cas de placer, à moins de 0,1 mm près, le filament toujours dans la même position par rapport au plan de portée des ergots.

Enfin, il n'est peut-être pas inutile d'insister sur le fait que, dans tous ces dispositifs, l'ampoule des lampes et les glaces dispersantes doivent être aussi peu diffusantes que possible quand on fait usage de lampes à consommation spécifique normale. Cependant on peut fort bien utiliser des ampoules satinées à condition que les filaments soient peu poussés.

Paraboloïde de révolution fermé par une glace réfractante.

Les glaces réfractantes comportent des prismes horizontaux destinés à rabattre le faisceau vers le sol et des cannelures verticales ayant pour effet d'élargir le faisceau.

Ces glaces constituent, théoriquement, une solution simple, d'un rendement satisfaisant, pouvant s'appliquer à un projecteur quelconque.

Pratiquement, il nous semble que les résultats ne sont intéressants que si le nombre des prismes est assez grand et si la glace est taillée. Lorsque ces glaces sont moulées, les aspérités qui proviennent du moule diffusent la lumière et peuvent donner aux prismes une brillance assez élevée. En outre, il y a souvent des petits points brillants dus aux rayons qui traversent la glace sans subir de déviation, notamment à la jonction des prismes.

L'utilisation des dispositifs antiéblouissants à bord des voitures.

Quel que soit le système employé pour éviter l'éblouissement des usagers venant en sens contraire, il existe deux dispositions types d'utilisation qui sont conformes à l'esprit et à la lettre de la loi, ce sont la disposition symétrique et la disposition dyssymétrique.

1° *Solution symétrique.* — Dans cette solution, les deux projecteurs fonctionnant normalement en projecteurs A peuvent, moyennant une manœuvre simple, se transformer instantanément en projecteurs B.

On pourra, par exemple, passer de l'éclairage de route à l'éclairage de croisement, en inclinant simultanément les deux projecteurs ordinaires.

M. Bossu a fait remarquer qu'on commet assez souvent une grave erreur dans l'emploi du basculeur : c'est de croire qu'il convient d'augmenter l'inclinaison au fur et à mesure que les voitures se rapprochent.

Il est facile de se rendre compte sur la figure qu'il faudrait, au contraire, que les projecteurs soient plus inclinés quand la voiture venant en sens inverse se trouve éloignée que quand elle est proche.

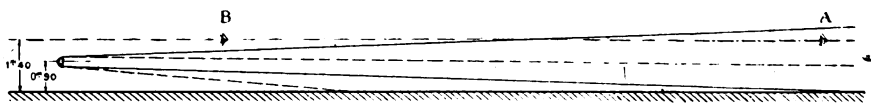


Figure montrant l'importance de l'inclinaison maximum du faisceau d'un projecteur d'automobile quand une voiture venant en sens inverse est encore éloignée. Le faisceau peut être relevé au fur et à mesure que les voitures se rapprochent. A et B représentent les positions de l'œil du conducteur d'une voiture marchant à la rencontre du projecteur. Les traits pleins se rapportent au faisceau de route libre et les traits pointillés au faisceau incliné pour le croisement.

C'est d'ailleurs très probablement une des raisons pour lesquelles on a constaté que des dispositifs antiéblouissants, donnant de près d'excellents résultats, étaient quelquefois gênants à grande distance.

Afin d'éviter que l'usager utilise sans discernement les dispositifs sur lesquels il peut agir, la réglementation officielle ne tolère que des systèmes ayant deux positions, l'une correspondant à l'éclairage de route, l'autre à l'éclairage de croisement. Le dispositif de basculement doit donc être tel qu'aucune position intermédiaire du faisceau ne soit possible pour toute position intermédiaire de l'organe de manœuvre.

Dans la solution symétrique avec exfocalisation, on fait usage de lampes à deux filaments. L'un des filaments est au foyer et sert à l'éclairage normal, l'autre est exfocalisé suivant l'axe du miroir et est placé dans une petite coupelle métallique dont l'ouverture est tournée vers le haut. Dans les lampes du commerce, le centre de ce filament est à 0,6 cm en avant du foyer du miroir et coïncide avec le centre de l'ampoule, cette dernière disposition ayant pour objet d'éviter dans une certaine mesure la formation d'images nuisibles.

Le passage d'un mode d'éclairage à l'autre doit se faire sans interruption de lumière car, il peut être dangereux pour le conducteur d'une voiture roulant à vive allure, d'avoir subitement devant lui l'obscurité. Les règlements prescrivent, à cet effet, un commutateur tel qu'au cours de son fonctionnement un filament ne puisse être éteint avant que l'autre ne soit allumé.

2° *Solution dyssymétrique.* — Dans cette solution, on utilise normalement deux projecteurs l'un A, l'autre B, et on éteint le projecteur A à la rencontre d'un usager.

On peut, soit incliner d'une façon permanente le projecteur de *droite* ⁽¹⁾, soit en exfocaliser la source, soit encore le munir d'une glace réfractante, le projecteur de *gauche* ⁽²⁾ étant installé à la façon habituelle pour l'éclairage de route.

Les deux solutions, symétrique et dyssymétrique, donnent des résultats également bons.

(1) Lorsque l'axe d'un projecteur doit être incliné d'un angle donné sur l'horizontale, il est indispensable que le projecteur soit toujours muni de deux repères verticaux permettant de s'assurer facilement, au moyen d'un fil à plomb, que l'inclinaison convenable a bien été réalisée (décision de la Commission ministérielle des projecteurs d'automobiles).

(2) Cette disposition des projecteurs sur la voiture est spécifiée dans l'art. 6 de l'arrêté du 28 juillet 1923.

ÉCLAIRAGE DES GRANDES SURFACES ⁽¹⁾ PAR PROJECTEURS

Par M. MASSING

Conditions à réaliser. — Répartition des foyers. — Projecteurs. — Supports. — Comparaison avec l'éclairage ordinaire. — Etude d'un projet.

Nous étudierons ici le problème de l'éclairage des grandes surfaces horizontales au moyen de projecteurs puissants placés sur des supports de grande hauteur.

L'éclairage de ces surfaces pourrait également être réalisé au moyen d'un certain nombre de candélabres du modèle utilisé pour l'éclairage public ; nous ne parlerons pas de ce dernier mode d'éclairage, qui est beaucoup plus connu.

La solution que nous allons examiner a été réalisée d'abord aux Etats-Unis par les Compagnies de Chemins de fer. Celles-ci ont voulu par un éclairage convenable, dans les gares de triage et au voisinage des grandes gares, assurer un service satisfaisant pendant toute la nuit, permettant d'augmenter le trafic, de diminuer les accidents de personnel et de matériel, les vols, les retards et les avaries.

L'Association américaine des Ingénieurs Electriciens des Chemins de fer a comparé les résultats obtenus pendant plusieurs mois dans une gare de triage importante avant et après installation de l'éclairage.

Le nombre des wagons manœuvrés pendant la nuit a augmenté de 15,5 pour cent, les frais de réparation du matériel ont diminué de 21 pour cent, aucun accident de personne n'a été constaté. Le personnel chargé de la police a déclaré que sa tâche était grandement facilitée.

De nombreuses Compagnies de Chemins de fer ont engagé des dépenses importantes pour l'éclairage de leurs voies de triage et cette généralisation du système a pleinement confirmé les premiers résultats.

Plusieurs Compagnies Françaises ont également réalisé quelques installations.

(1) Communication présentée à la séance de la 2^e section du 5 mars 1929.

Les avantages que nous venons d'indiquer pour l'exploitation des chemins de fer se retrouvent sur tous les chantiers où le travail de nuit doit avoir un rendement équivalent à celui du travail de jour : sur les quais, écluses, docks, dépôts de matériel et de charbon, postes extérieurs à très haute tension, terrains de jeux et de sport, parcs d'exposition, grandes places publiques ou plages, etc...

Dans plusieurs de ces applications, ce mode d'éclairage est le seul possible par suite de la nécessité de placer les points lumineux en dehors de la surface, dans les terrains de jeux et de sport par exemple.

Pour ces derniers, étant donné les grandes dépenses engagées dans l'installation des terrains de sport, les frais supplémentaires pour l'éclairage, qui en permettent l'usage le soir, seront facilement compensés par l'utilisation meilleure.

CONDITIONS A RÉALISER.

L'expérience américaine confirme, ce que le bon sens indique *a priori*, que seul un éclairage uniforme sans ombre et surtout sans éblouissement est capable de procurer des améliorations en rapport avec la dépense engagée.

La valeur de l'éclairement à réaliser dépend de l'utilisation ; on admet généralement de 2 à 5 lux pour les terrains d'usine, de 10 à 30 lux pour les docks, quais, dépôts, de 20 à 80 lux pour les terrains de sport.

En général, les mouvements de personnes et de matériel se font dans plusieurs directions : il en résulte que, quelle que soit la position des points lumineux, la vision s'effectue tantôt par réflexion si l'observateur est placé entre la source et l'objet éclairé, tantôt par silhouette si l'objet est placé entre la source et l'observateur. S'il y a plusieurs foyers lumineux, la vision est mixte.

La vision par réflexion nécessite une puissance beaucoup plus considérable et ne peut être réalisée que grâce à un éclairage particulièrement intense. On peut admettre que dans 90 pour cent des éclairages extérieurs, la vision s'effectue par silhouette.

Il ne doit y avoir aucun danger d'éblouissement quelle que soit la position de l'observateur et la direction de ses regards, d'où la nécessité de placer à une grande hauteur les projecteurs qui sont forcément très puissants. Les ombres sont également très diminuées par l'augmentation de la hauteur.

La hauteur jouerait un rôle secondaire uniquement dans les cas extrêmement rares où le personnel aurait, pendant son travail, constamment le dos tourné aux foyers lumineux.

Le minimum de hauteur des foyers lumineux doit être de 25 mètres et des supports de cette hauteur sont coûteux. Des considérations économiques pourraient faire choisir des hauteurs plus faibles, mais toute économie ainsi réalisée entraînerait une diminution considérable de l'efficacité de l'éclairage et pourrait même le rendre dangereux.

Si on réduit la hauteur, il faut en même temps réduire la puissance des foyers lumineux. On se rapproche alors de l'éclairage par candélabres et il est préférable d'adopter de simples candélabres d'éclairage public convenablement disposés.

RÉPARTITION DES FOYERS LUMINEUX.

Les projecteurs peuvent être groupés en batterie soit sur un pylône unique, soit, pour des installations importantes, sur des pylônes très écartés, ou bien encore être montés isolément sur des pylônes plus rapprochés.

Les Américains utilisent des batteries qui comprennent jusqu'à 30 projecteurs.

Cette disposition est plus économique mais donne une répartition très variable de l'éclairement au sol et le danger d'éblouissement est plus difficile à éviter qu'avec la deuxième solution. Elle s'impose quand les dimensions et la nature de la surface à éclairer permettent de placer un support central supportant des projecteurs répartis autour d'une plateforme, telle une grande place publique avec rond-point central. Un seul support avec une plate-forme autour de laquelle sont disposés des projecteurs, remplace une série de candélabres du type ordinaire placés sur la périphérie. Ce dispositif convient tout particulièrement pour la circulation giratoire, l'éclairage se faisant latéralement.

L'emploi de faisceaux croisés donne une répartition plus uniforme de l'éclairement et adoucit les ombres.

PROJECTEURS.

Les projecteurs de marine ne peuvent être utilisés pour l'éclairage des grandes surfaces. Ils produisent un cône de lumière de trop faible

ouverture. Le faisceau des projecteurs à employer doit avoir une ouverture de 20° à 30° sans bords nets.

Les projecteurs employés doivent évidemment être rigoureusement étanches et inoxydables pour éviter les pannes et l'entretien.

La Compagnie des Lampes établit un type de projecteur dénommé L 22. La pratique a montré que ce projecteur est parfaitement adapté à l'emploi envisagé ici.

Ce projecteur est prévu pour éclairer à une grande distance en émettant un faisceau axial d'intensité lumineuse relativement très considérable. L'ouverture du faisceau est de 22° ou de 32° pour permettre d'éclairer une certaine surface. Dans ce but, le réflecteur est formé de trois surfaces (fig. 1).

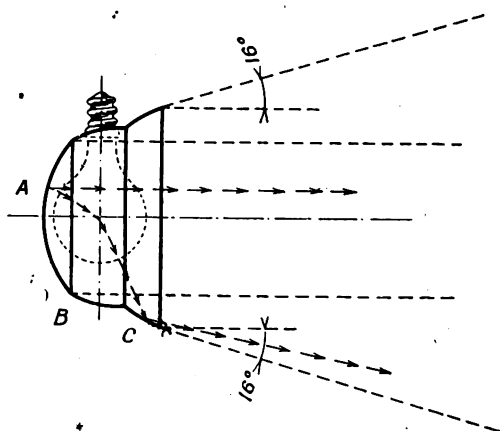


FIG. 1. — Disposition des miroirs dans le projecteur L 22 destiné à l'éclairage des voies de triage.

A. — Surface parabolique. — B. — Surface sphérique.
C. — Miroir parabolique.

Une surface A parabolique envoie vers l'avant une grande partie du flux lumineux en faisceau parallèle, une surface B sphérique envoie une partie des rayons sur le bord du miroir C, une surface C parabolique à grand rayon de courbure reçoit les rayons issus de la surface sphérique B, qui paraissent provenir de sources placées en arrière du foyer de la surface C et sont réfléchis en faisceau divergent.

Les miroirs sont en verre argenté et protégés par une couche de cuivre déposée électrolytiquement qui assure en outre le refroidissement.

L'emploi à l'avant d'une glace en verre clair donne un faisceau de 22° d'ouverture.

L'appareil peut être muni d'une glace en verre moulé à surface martelée qui donne un faisceau de 32° d'ouverture.

Le projecteur prend alors l'aspect d'un disque à brillance uniforme et réduit l'éblouissement, mais surtout, l'éclairage obtenu est plus uniforme.

Le projecteur est étanche ; la ventilation est assurée par une cheminée placée à la partie supérieure.

L'appareil peut être muni d'un auvent débordant à la partie supérieure de la glace. Cet auvent réfléchit une partie des rayons vers le sol et améliore l'éclairement au pied des supports.

Le flux total du faisceau est de 8825 lumens quand la lampe à atmosphère gazeuse de 1000 watts, correspond à un rendement d'environ 50 pour cent.

Le réflecteur a un diamètre de 463 mm et une profondeur de 280 mm. L'appareil a une largeur de 657 mm et une hauteur totale de 876 mm y compris le socle.

Prévu principalement pour l'éclairage des gares de triage, il a été rendu inattaquable aux vapeurs sulfureuses provenant des fumées de locomotives : Il est donc particulièrement résistant aux actions chimiques que l'on peut craindre dans les villes.

Le projecteur doit être placé au bord de la plateforme afin que celle-ci ne coupe pas le faisceau.

Il s'ouvre par l'arrière, de sorte que le nettoyage et le remplacement des lampes peuvent se faire sans danger par un ouvrier placé sur la plateforme.

D'autres constructeurs français ont également réalisé des appareils répondant aux conditions exigées. Nous citerons en particulier : BRÉGUET, BARBIER BÉNARD et TURENNE, SAUTTER HARLÉ.

Plusieurs ont cherché à augmenter l'angle d'ouverture du faisceau lumineux au moyen de glaces diffusantes ; mais il en résulte souvent une absorption considérable du flux lumineux.

SUPPORTS.

Les projecteurs peuvent être disposés soit sur des pylônes métalliques, soit sur des poteaux en béton tels que ceux en béton centrifugé fabriqués par la Société Française des Poteaux Electriques.

Les premiers demandent un entretien constant et sont peu esthétiques ; à ce point de vue, leur emploi est difficile sur les places publiques.

Les poteaux en béton centrifugés parfaitement aptes à cet emploi, ne nécessitent aucun entretien. Ils sont beaucoup plus esthétiques que les pylônes métalliques ; il est possible de décorer la base du support au moyen d'un socle ornementé en béton moulé avec banc, vasques de verdure ou de fleurs, etc. . .

L'encombrement est très réduit, puisque le fût d'un support de 25 m de hauteur a un diamètre à l'encastrement de 55 cm.

Le dispositif le plus généralement employé pour l'installation de projecteurs est constitué par un poteau en béton armé centrifugé d'une hauteur hors sol de 25 m environ.

Le poteau est prévu pour un effort de 500 kg au sommet, avec coefficient de sécurité égal à 5, soit près de 1 200 kg à la hauteur d'amarrage des conducteurs aériens.

Ce poteau doit être encastré dans un massif en béton dont les dimensions sont à déterminer, d'après les conditions locales d'implantation. En terrain normal un massif de 1,50 m $\times$ 1,50 $\times$ 2,50 de profondeur est suffisant pour une hauteur de 25 m.

Au sommet de ce pylône est scellé une plateforme également en béton armé d'environ 1,50 m $\times$ 1,50, destinée à supporter les projecteurs. Cette plateforme est munie d'un trou d'homme pour en permettre l'accès et entourée d'un garde-fou.

Une échelle en fer galvanisé est scellée au poteau, à une distance convenable ; elle s'arrête à 4 ou 5 m au-dessus du sol de manière à empêcher l'accès de la plateforme aux personnes non qualifiées.

Les conducteurs d'alimentation à basse tension entrent, par l'intermédiaire de pipes en porcelaine, à l'intérieur du poteau et montent directement par l'orifice central à la plateforme pour entrer dans un coffret blindé comprenant un interrupteur bipolaire, avec coupe-circuit pour chaque projecteur. Les projecteurs sont reliés au coffret par un câble souple contournant la plateforme. Une prise de courant du type extérieur permet d'isoler complètement un projecteur de son coffret. On peut également disposer un tableau de manœuvre à la base du support.

Les projecteurs n'éclairant qu'à une distance minimum de 30 à 50 m, des consoles supportant des réflecteurs genre Holophane peuvent être disposées à une hauteur de 6 à 8 m pour l'éclairage des abords immédiats du support.

Si le nombre des projecteurs à installer est considérable, on peut utiliser un portique constitué par deux poteaux réunis par une plate-forme.

COMPARAISON ÉCONOMIQUE ENTRE L'ÉCLAIRAGE PAR PROJECTEURS
ET L'ÉCLAIRAGE PAR CANDÉLABRES ORDINAIRES.

Il est difficile de comparer, d'une manière absolue, ces deux modes d'éclairage qui n'ont pas les mêmes qualités. L'éclairage ordinaire donne un éclairement moyen élevé sur le sol et un bon éclairement vertical, mais il exige une forte consommation de courant.

L'expérience a montré que, pour éclairer convenablement une rue de 10 à 12 m de large, il était nécessaire d'installer tous les 40 m, à 6,50 m de hauteur, un foyer lumineux de 500 W avec globe réfracteur genre Holophane.

Les projecteurs donnent, sur une grande partie de la surface éclairée, un éclairement moyen inférieur, mais l'éclairement vertical reste élevé. En outre, l'effet de contraste sur le fond est beaucoup plus marqué et par suite la vision par silhouette est bien meilleure.

Enfin, l'appréciation du relief et du mouvement est facilitée par les ombres créées par un faisceau lumineux très incliné comme celui donné par les projecteurs. Il faut remarquer que, sauf dans les cas très particuliers d'éclairage intensif, le problème de l'éclairage extérieur est essentiellement différent du problème de l'éclairage des intérieurs et que la dépense à engager pour obtenir à la fois une répartition horizontale et verticale quasi uniforme serait hors de proportion avec le résultat à obtenir à savoir : une vision nette.

Des essais que nous avons effectués avec différents véhicules se déplaçant dans le champ d'un projecteur de 1500 W placé à 26,60 m de hauteur, nous pensons pouvoir conclure qu'un tel projecteur permettrait d'éclairer un alignement droit de 250 m de long.

Nous allons comparer les deux systèmes d'éclairage dans différents cas.

1° *Eclairage d'une voie en ligne droite.* — On peut installer par kilomètre 2 poteaux phares portant chacun 2 projecteurs de 1500 W.

L'éclairage des abords immédiats des poteaux phares est assuré par 2 lampes de 750 W.

L'éclairage par candélabre nécessiterait 25 candélabres de 500 W par kilomètre.

Les dépenses de premier établissement sont sensiblement équivalentes.

L'éclairement est plus uniforme avec des candélabres et ces derniers

sont plus esthétiques que les poteaux phares, dont l'emploi peut difficilement être envisagé dans les agglomérations.

L'éclairage par candélabres s'impose dans le cas de routes sinueuses et plantées d'arbres.

L'emploi des poteaux phares est particulièrement indiqué pour les routes, pour l'éclairage des parties dangereuses. La diminution du nombre des points lumineux facilite considérablement l'entretien.

La consommation d'énergie serait, par kilomètre, de 12 500 W pour les candélabres et de 7 500 W seulement pour les poteaux phares.

2° *Eclairage d'un carrefour formant place.* — Pour l'éclairage d'un carrefour à quatre voies, un poteau phare équipé avec 4 projecteurs de 1 500 W et 3 lampes ordinaires de 750 W pour l'éclairage local de la place peut remplacer 25 candélabres.

La dépense de premier établissement est moins élevée avec l'éclairage par projecteur.

La puissance consommée est de 8 250 W, tandis que celle des candélabres serait de 12 500 W.

L'avantage serait encore plus marqué si le nombre des voies aboutissant au carrefour était plus élevé ; les frais d'installations du support proprement dit, sont constants et un projecteur éclairant dans la direction de chaque voie remplace une rangée de candélabres placés le long de cette voie.

Un poteau phare est en cours d'exécution au carrefour de Picardie à Saint-Denis.

3° *Eclairage de terrains de grandes dimensions.* — Le principal avantage de l'éclairage par projecteur est de permettre de dégager entièrement le terrain à éclairer.

Dans de nombreux cas, les conditions d'utilisation de ce terrain rendent l'emploi de candélabres rapprochés complètement impossible.

Les considérations d'esthétique seront souvent à l'avantage des poteaux phares.

La comparaison au point de vue dépense de premier établissement et consommation d'énergie doit être faite dans chaque cas particulier.

Les Américains admettent les puissances suivantes : Terrains d'usines, places : 0,5 à 2,5 watts/m². Docks, quais : 2 à 7 watts/m². Terrains de jeux et sports : 5 à 20 watts/m².

ÉTUDE D'UN PROJET D'ÉCLAIRAGE.

Le projecteur étant placé à une hauteur H , l'axe du faisceau ayant une inclinaison i sur la verticale, le faisceau ayant une ouverture 2×0 , il est facile de déterminer l'ellipse, trace du faisceau lumineux sur la surface à éclairer.

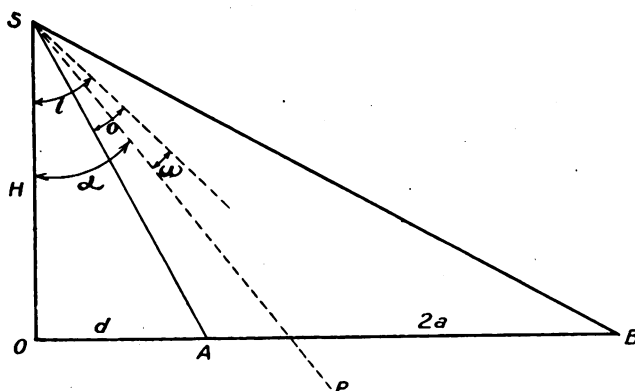


FIG. 2.

Soit (fig. 2), $2a$ et $2b$ le grand et le petit axe de cette ellipse. On a :

$$d = H \operatorname{tg} (i - 0),$$

$$2a = H [\operatorname{tg} (i + 0) - \operatorname{tg} (i - 0)],$$

$$2b = 2a \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\cos^2 0}}.$$

Par exemple, pour une hauteur $H = 28,50$ m, $2 \times 0 = 32^\circ$; $i = 68^\circ$; on trouve $d = 37$ m, $2a = 235$ m, $2b = 62$ m. La surface de l'ellipse $S = \pi ab = 11\,450$ m².

L'éclairement moyen sur le sol est donné par le rapport du flux utile total à la surface.

Un projecteur L 22 équipé avec une lampe de 1500 W donne un flux utile de 13 600 lumens.

L'éclairement moyen est $\frac{13\,600}{11\,450} = 1,18$ lux.

Les caractéristiques des ellipses étant déterminées, on les répartira sur la surface à éclairer de manière à la couvrir de la façon la plus judicieuse en tenant compte des conditions locales et on déduit de leurs positions l'emplacement des supports.

Quelques tâtonnements seront nécessaires pour arriver à la meilleure solution.

On vérifiera ensuite en quelques points la valeur de l'éclairement au moyen des courbes caractéristiques du modèle de projecteur employé.

En P la valeur de l'éclairement horizontal E en lux est :

$$E = \frac{I_x}{r^2} \cos \alpha.$$

α étant l'angle PSO, I_x étant la valeur de l'intensité lumineuse en bougies décimales dans la direction SP, $r = SP$ en mètres,

$$r = \frac{H}{\cos \alpha} \quad \text{donc :} \quad E_H = \frac{I_x \cos^3 \alpha}{H^2}.$$

H étant la hauteur du point lumineux.

La valeur de l'éclairement fourni par plusieurs projecteurs est évidemment égale à la somme des éclairagements des différents projecteurs.

Il y a lieu de vérifier la valeur de l'éclairement vertical qui doit être d'au moins 0,5 lux.

La valeur minimum est obtenue en B. L'éclairement vertical au point P pour un plan perpendiculaire à OB est égal à :

$$E_V = \frac{I_x}{SP^2} \sin \alpha,$$

I_x étant l'intensité lumineuse suivant la direction SP ; d'autre part,

$$SP = \frac{H}{\cos \alpha}.$$

On a :

$$E_V = \frac{I_x}{H^2} \sin \alpha \cos^2 \alpha = E_H \operatorname{tg} \alpha.$$

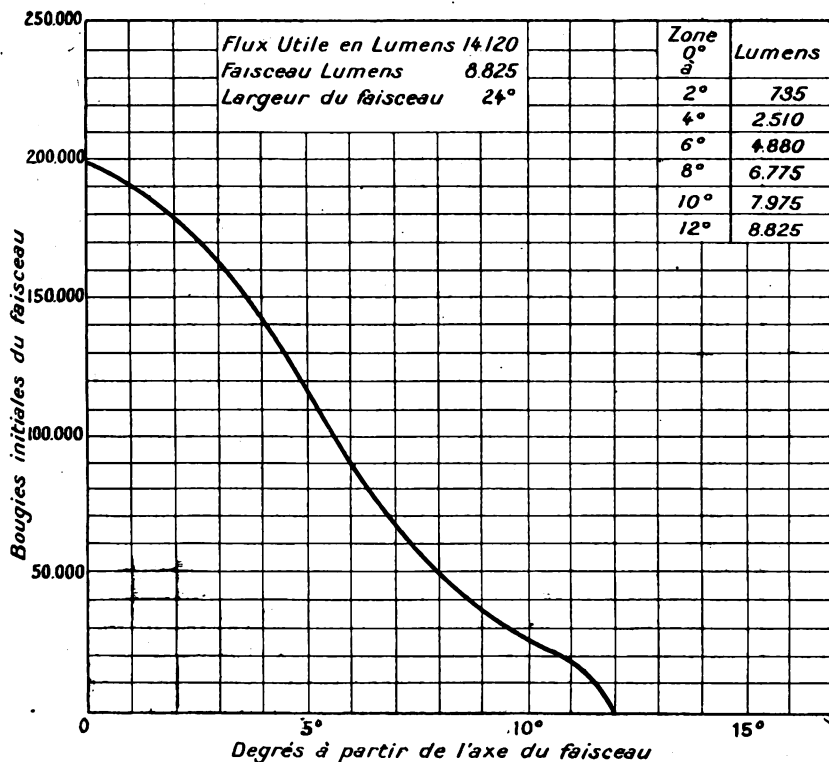
La courbe donnant l'intensité lumineuse I en fonction de l'angle α est reproduite sur la figure 3 c'est aussi celle des éclairagements le long du grand axe de l'ellipse.

L'exemple donné se rapporte à un projecteur L22 placé à 30 m de hauteur avec un faisceau de 24° d'ouverture et une inclinaison de $84''$.

Nous voyons que pour avoir une répartition aussi uniforme que possible de l'éclairement, la courbe $I = f(\omega)$ doit être aussi aplatie que possible pour une valeur donnée du flux utile total. On augmente ainsi l'angle dans lequel la valeur de I a une valeur suffisante, c'est-à-

dire l'angle d'ouverture du faisceau utile. La surface éclairée est plus grande.

Ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, l'emploi de glaces diffu-



Réflecteur en 2 sections, 3 surfaces en verre argenté de 463,5 mm de diamètre sur 279 mm de profondeur, porte en verre clair (convexe).

Fig. 3. — Courbe de l'intensité lumineuse en fonction de l'angle du faisceau avec la verticale.

santes diminue souvent d'une manière considérable le flux lumineux total et le rendement de l'appareil devient médiocre.

La réalisation d'un angle suffisant d'ouverture de faisceau, doit être obtenue par des caractéristiques optiques appropriées du projecteur.

Applications. — 1° *Espace de très grande dimension.* — Supposons que nous ayons à éclairer un terrain de forme carrée de 300 m de côté, aucun support ne devant se trouver sur le terrain (fig. 4).

Nous placerons sur le milieu de deux côtés opposés, en P_1 et P_2 , 2 poteaux-phares de 28,50 m de hauteur supportant chacun 7 pro-

jecteurs L22 de 1 500 W et, de 32° d'ouverture, ayant une inclinaison de 68° .

Nous avons calculé plus haut les caractéristiques des ellipses correspondantes.

Nous répartirons horizontalement les axes des faisceaux lumineux

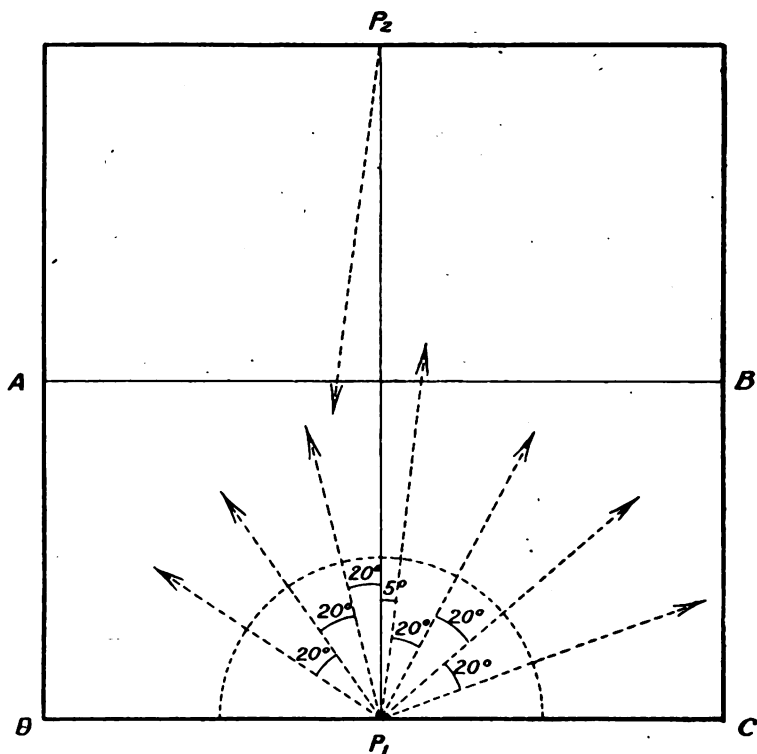


Fig. 4. — Eclairage par projecteurs d'un terrain de grandes dimensions.

de telle sorte que 2 ellipses contiguës se coupent, soit sur la ligne médiane AB, soit sur les côtés du terrain.

Avec cette répartition, chaque point de ces lignes est éclairé par deux projecteurs.

Afin d'éviter la coïncidence des 2 ellipses médianes et améliorer la répartition de l'éclairage, on a fait tourner leurs axes de quelques degrés en sens inverse.

Le centre de l'ellipse médiane coïncide approximativement avec le centre du terrain. L'éclairement en ce point est de 0,5 lux par projecteur, c'est-à-dire 1 lux au total.

Le maximum d'éclairement se trouve entre les traces des axes des

faisceaux des projecteurs et les sommets des ellipses voisins des supports, c'est-à-dire entre des cercles de 36 m et 70 m de rayon.

La valeur de ce maximum est d'environ 13 lux.

Le minimum se trouve sur les côtés du terrain, sa valeur est d'environ 0,4 lux.

L'éclairage des abords immédiats des poteaux-phares est assuré par deux réflecteurs Holophane de 750 W.

Un éclairage plus intense s'obtiendrait en augmentant le nombre des projecteurs. On pourrait placer 14 projecteurs en deux rangées superposées sur chaque poteau-phare. La répartition de l'éclairement serait améliorée en inclinant plus fortement une des rangées des projecteurs. L'inclinaison serait telle que l'axe du faisceau des projecteurs milieux soit dirigé sur le centre du terrain, ce qui donne $i = 79^{\circ}30'$. L'éclairement au centre correspondant serait de 1,5 lux et l'éclairement total produit par les 4 projecteurs milieux des 2 poteaux-phares serait de $2(1,5 + 0,5) = 4$ lux.

L'éclairement minimum sur les côtés du terrain serait de 2 lux environ.

Le maximum ne serait pas sensiblement modifié.

La répartition de l'éclairement horizontal serait donc assez uniforme.

L'éclairement vertical sur la ligne médiane AB varierait de 4 à 8 lux avec des poteaux-phares portant 2 projecteurs et de 10 à 35 lux avec des poteaux-phares portant 14 projecteurs.

L'éclairement vertical serait donc considérable.

La puissance consommée serait de $14 \times 1,5 = 21$ kW dans le premier cas et de 42 kW dans le deuxième cas.

L'éclairage d'un terrain de 300 m de côté (surface approximative de la Place de l'Etoile) au moyen de candélabres, nécessiterait 70 foyers lumineux qui le rendraient inutilisable pour de nombreux usages.

Nous voyons que les possibilités du mode d'éclairage que nous venons d'étudier sont très étendues ; il permettra de résoudre, dans beaucoup de cas, et d'une manière satisfaisante des problèmes difficiles.

2° *Terrains de foot-ball.* — Les Américains emploient deux systèmes :

a). — 4 tours supportant chacun 15 projecteurs de 1 500 W sont

placés à la partie supérieure des tribunes à une distance d'environ 30 m. du terrain (figure 5).

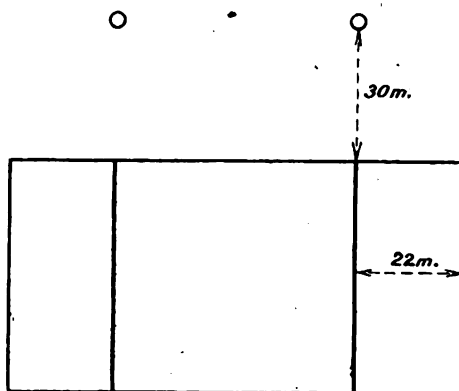


FIG. 5. — Eclairage d'un terrain de foot-ball, 1^{re} disposition.

Cette disposition a l'inconvénient d'éblouir les spectateurs. Il est préférable de placer les projecteurs plus près du bord du terrain.

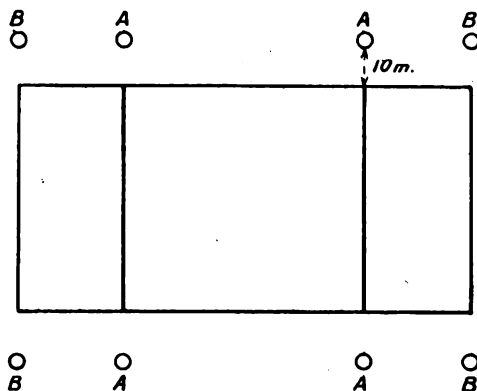


FIG. 6. — Eclairage d'un terrain de foot-ball, 2^e disposition.

La disposition indiquée à la figure 6 est généralement préférée.

Les tours A supportent chacun 8 projecteurs de 1000 W et les tours B, 4 projecteurs de 1000 W, soit en tout 48 projecteurs.

REMISE A L'HEURE DES HORLOGES ET COMMANDES A DISTANCES DIVERSES PAR LES LIGNES TÉLÉPHONIQUES (1)

par M. LAVET.

Ingénieur aux Établissements Hatot.

Pour répondre à un vœu des usagers du téléphone, l'Administration Française des Postes et Télégraphes vient d'organiser un service de l'heure. Désormais, les téléphonistes du central doivent indiquer l'heure exacte à tout abonné qui le demande. Il est même envisagé la possibilité pour l'abonné de se faire réveiller dans la nuit par la sonnerie du central téléphonique.

L'organisation de ce service de l'heure a provoqué une certaine émotion dans le monde horloger, et elle a fait l'objet de divers articles dans les journaux corporatifs et en particulier, dans le numéro de janvier de la revue, *La France Horlogère*, qui contient, sous la signature de M. LIPMAN, une critique assez sévère de l'initiative de l'Administration. M. LIPMAN expose notamment les risques que les abonnés pourront courir de recevoir des indications inexactes de la part des employés du téléphone, déjà très occupés par les demandes de communications ordinaires.

Dans le numéro du 1^{er} mars 1929 de la même revue, M. Alfred UNGERER, le célèbre horloger de la cathédrale de Strasbourg, a exprimé les mêmes craintes, et il a décrit deux installations horaires très intéressantes qu'il a réalisées à Hambourg et à Strasbourg, pour transmettre dans de meilleures conditions l'heure exacte au moyen des lignes téléphoniques. Dans ces deux villes, sont installées des horloges à contact reliées au central téléphonique, qui permettent aux abonnés d'écouter directement l'heure exacte, en demandant des numéros attribués à ces installations horaires. Lorsqu'un abonné a reçu la communication, il entend à chaque minute, depuis la seconde 55 jusqu'à la seconde 60,

(1) Communication faite à la 5^e Section de la Société française des Electriciens, le 22 mars 1929.

un son de vibreur qui lui indique l'instant de la minute entière et qui est suivi de signaux modulés permettant de reconnaître l'unité de la minute révolue. Ses signaux sont constitués par une série de points et de traits musicaux que l'on traduit grâce à un code porté à la connaissance des abonnés.

Bien entendu, la réalisation de ces pendules à contact est assez difficile et coûteuse et la lecture de l'heure au moyen d'un signal conventionnel de points et de traits musicaux peut paraître un peu compliquée. Néanmoins, le procédé de transmission directe des indications d'une pendule étalon, présente le gros avantage de permettre l'indication très précise de l'heure exacte. Aussi nous croyons qu'il est de beaucoup préférable à la simple indication de l'heure par les employés du téléphone. Par quelques expériences nous avons pu nous rendre compte, en effet, que dans ce dernier cas, les écarts des indications sur l'heure exacte atteignaient souvent plusieurs minutes.

On peut objecter sans doute que beaucoup de personnes peuvent se contenter de cette approximation. Mais pour celles-ci, le secours du service téléphonique de l'heure semble bien superflu. En effet, la précision des pendules et des montres courantes est très suffisante pour fournir l'heure à quelques minutes près. Ce n'est qu'aux personnes qui ont besoin d'une heure très exacte, que le service de l'heure peut être vraiment utile et, pour remplir ce but, il est réellement utile d'améliorer l'état de choses actuel.

A notre époque, de plus en plus fiévreuse, la connaissance précise de l'heure joue, en effet, un rôle très important pour régler l'activité des individus et des collectivités. Dans les usines et les bureaux, on assure un contrôle de plus en plus précis des heures de travail. Dans certains services publics, comme les chemins de fer, les horaires doivent être réglés très minutieusement et il devient indispensable de connaître l'heure à une petite fraction de minute près. Il n'est peut-être pas nécessaire d'atteindre la précision de la seconde, car celle-ci n'intéresse qu'un petit nombre de personnes qui peuvent d'ailleurs se servir avantageusement des signaux horaires internationaux transmis par T. S. F. mais on peut estimer qu'il est très désirable que le service de l'heure par téléphone fournisse l'heure avec des écarts ne dépassant pas $1/4$ de minute.

Nous croyons que ce résultat pourrait être atteint très facilement, sans recourir à des installations horaires compliquées, en faisant entendre aux abonnés demandant l'heure un signal horaire émis à certaines heures connues d'avance. Ces signaux devraient être suffisam-

ment rapprochés pour que toute personne ayant besoin de l'heure à un moment quelconque de la journée n'ait pas trop à attendre pour les obtenir.

Le signal horaire pourrait être constitué, par exemple, par une simple émission musicale se produisant aux heures rondes, aux quarts, aux demies et aux trois quarts. L'abonné connaissant déjà l'heure à quelques minutes près, pourrait ainsi corriger, sans aucun risque d'erreur, les écarts des aiguilles pouvant atteindre jusqu'à 5 minutes d'avance et de retard, ce qui semble tout à fait suffisant pour les besoins de la pratique ⁽¹⁾.

La téléphoniste donnant l'heure pourrait ainsi être remplacée par une pendule étalon, émettant tous les quarts d'heure, le signal en question. Comme dans le système appliqué à Hambourg et Strasbourg, cette pendule serait reliée au Central téléphonique et l'abonné serait mis en communication directe avec la pendule. On peut concevoir de nombreuses modalités de réalisation de ce système. Par exemple, on peut simplement attribuer un numéro de téléphone à la pendule. Il est utile dans ce cas, que ce numéro puisse être obtenu simultanément par plusieurs abonnés et que ces derniers ne puissent se téléphoner librement entre eux. Ces problèmes sont d'ailleurs susceptibles de faciles solutions.

Ce mode de transmission de l'heure que nous venons d'exposer, présente les avantages suivants :

1° Il élimine tous risques d'erreurs et il peut être facilement utilisé par les abonnés, sans nécessiter l'interprétation d'un signal complexe. Il permet l'indication de l'heure avec une précision aussi grande qu'on le veut, à la seule condition de disposer d'une pendule étalon bien réglée. Cette pendule pourrait d'ailleurs être installée à l'Observatoire où elle serait facilement tenue à l'heure avec un soin constant.

2° La possibilité de recevoir un signal à l'une des minutes 0, 15, 30 ou 45 permet de réaliser instantanément la remise à l'heure des pendules par des commandes électriques très simples.

On peut notamment utiliser le petit mécanisme représenté sur le croquis ci-dessous, déjà appliqué dans les pendules à remise à l'heure automatique « Ato-Radiola » que nous vous avons présentées récemment.

(1) Le signal horaire pourrait aussi être constitué par la sonnerie d'un carillon ou même être donné par un phonographe mis en marche et synchronisé par la pendule étalon. Si on connaît déjà l'heure à ± 5 minutes près, une simple émission musicale est suffisante.

En appuyant sur un bouton de contact placé à proximité du téléphone, on agit sur une came en forme de trèfle à 4 feuilles, **solidaire** de la grande aiguille. Cette aiguille étant montée à friction sur l'axe actionné par le mécanisme horaire, peut être rappelée à l'une des 4 positions précises correspondant aux minutes 0, 15, 30 ou 45, comme on le ferait en la poussant avec le doigt. Il suffit que la grande aiguille transmette son mouvement à la petite aiguille par les engrenages ha-

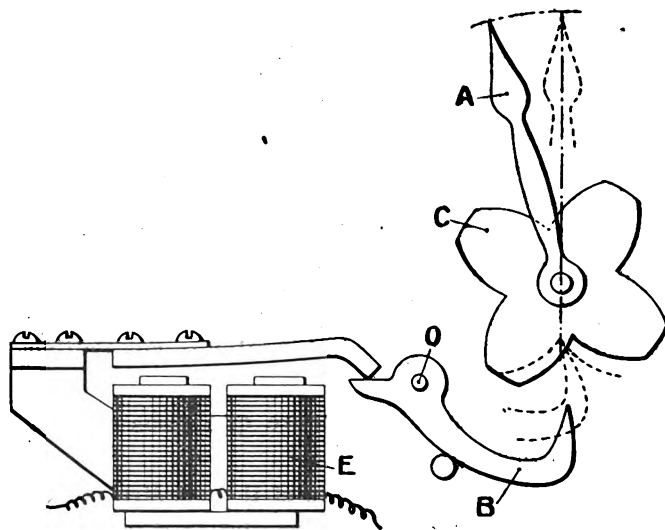


Fig. 1

bituels, pour que les 2 aiguilles conservent leurs positions relatives.

Avec une came conforme à la figure 1, on peut corriger instantanément les écarts d'avance et de retard pouvant atteindre jusqu'à 5 minutes.

3° En adoptant un signal horaire constitué par un courant rythmé envoyé dans la ligne téléphonique, on peut obtenir la remise à l'heure tout à fait automatique des pendules. Il suffit pour cela d'utiliser un relais sélectif à résonance, sensible uniquement au signal horaire rythmé.

Dans ce but, on peut se servir avantageusement de relais pendulaires identiques à ceux qui sont employés dans la remise à l'heure Ato-Radiola par signal radiophonique rythmé.

Un tel relais sera constitué par un petit pendule portant un aimant A ou un noyau de fer doux dont une extrémité se trouve à l'intérieur d'une bobine fixe B (fig. 2). Lorsque le balancier oscille à grande amplitude, il ferme un contact I envoyant un courant dans l'électro-aimant de remise à l'heure représenté sur la figure 1.

Dans le poste secondaire où se trouve la pendule à remettre à l'heure, munie du mécanisme de remise à l'heure figure 1 et du relais pendulaire figure 2, la bobine B doit être montée en parallèle sur le relais ou la sonnerie d'appel ordinaire du poste téléphonique. La résistance de cette bobine peut être très notablement supérieure à celle du relais

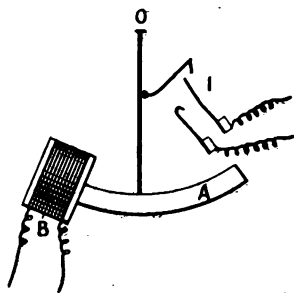


Fig. 2

d'appel, de manière que le courant ne soit pas sensiblement modifié, lors d'un appel normal. Par exemple, si la résistance du relais d'appel est de 500 ohms, la résistance de la bobine B du relais pendulaire sera de 5 000 ohms.

Le signal de remise à l'heure sera constitué par un courant intermittent périodique, de période égale à celle du balancier du relais pendulaire. L'intensité de ce courant sera très faible, de façon à ne pas faire agir le relais ou la sonnerie d'appel.

Dans ces conditions, lorsqu'un train d'impulsions de remise à l'heure sera lancé sur la ligne téléphonique, le relais pendulaire entrera, en résonance et fermera son contact, ce qui fera fonctionner la remise à l'heure.

Les Etablissements L. Hatot ont étudié un équipement complet de réseau téléphonique public, qui fournirait à toute demande d'un abonné, un signal horaire permettant, soit de mettre à l'heure à la main une pendule ou une montre ordinaire, soit d'opérer automatiquement la remise à l'heure par commande électrique au moyen des organes très simples que nous venons de décrire.

Avec le système ATO, les lignes d'abonnés restent équipées sans modification avec les électros d'appel et de coupure habituels. D'autre part, les opératrices du bureau central n'ont pas à accomplir un surcroît de travail sensible.

Il suffit de disposer d'une seule pendule émettrice pour un bureau central donné. Cette pendule, robuste et peu coûteuse, est du type à impulsion électromagnétique périodique. Elle est munie d'un contact se fermant pendant quelques secondes tous les quarts d'heure et d'un interrupteur en série, manœuvré par le balancier, de façon à interrompre le circuit toute les $1/2$ secondes, ce qui correspond au signal horaire rythmé.

En principe, les organes de transmission du signal sont constitués sur chaque table d'opératrice du bureau central, par un cordon spécial équipé avec trois électros : un électro de supervision, un électro de fin et un électro d'appel.

Ces électros commandent différents circuits multiplés sur toutes les tables et assurant la distribution du signal de remise à l'heure.

Nous ne décrirons pas les détails de cet équipement, ce qui n'offrirait pas grand intérêt et nous nous bornerons à indiquer brièvement le fonctionnement du système.

Quand un abonné appelle l'opératrice pour lui demander l'heure, la lampe d'appel s'allume, l'opératrice se porte en ligne et reçoit la demande sur un cordon ordinaire. Dès la réception de cette demande, l'opératrice retire sa fiche ordinaire et la remplace par sa fiche spéciale de remise à l'heure. Aussitôt, le relais de supervision fonctionne et prépare la transmission du signal. Cette préparation peut avoir lieu, soit avant, soit pendant la transmission du signal de remise à l'heure.

Dès le début du signal et pendant un très court instant, un des fils du multipage entre les différents cordons de remise à l'heure est mis sous courant et il en résulte que sur les cordons en service, dont le relais de supervision est excité, le relais de fin se trouve alimenté. Celui-ci fonctionne et couple sur le cordon, et par conséquent sur la ligne d'abonné, les fils du multipage sur lesquels sont lancés les signaux de remise à l'heure, par la pendule émettrice.

Le signal est ainsi transmis à l'abonné. Son relais pendulaire oscille et finalement, l'horloge est remise à l'heure:

L'électro de fin réunit également, à un des fils du multipage, la lampe de fin du cordon spécial. Or, ce fil est mis sous courant à la fin du signal; il en résulte que la lampe de fin s'allume. L'opératrice est

ainsi prévenue que le signal a été correctement lancé et, elle peut dé-ficher.

Si au contraire, la demande avait eu lieu pendant la transmission du signal, c'est-à-dire après son commencement, le relais de fin n'aurait pas fonctionné et c'est seulement à l'émission suivante que la pendule aurait été remise à l'heure et que la lampe de fin se serait allumée, prévenant l'opératrice de la fin du signal. Cette disposition permet d'éviter qu'un signal trop court ne puisse être considéré comme opérant.

On voit ainsi que l'intervention de l'opératrice se réduit au strict minimum : elle reçoit la demande, enfiche le cordon spécial et défiche à l'allumage de la lampe de fin.

Mais il semble résulter de l'exposé ci-dessus que si l'abonné fait sa demande au cours d'un signal, il risque de voir sa ligne immobilisée pendant un quart d'heure en attendant le signal suivant; il n'en est pas ainsi, parce que, comme nous l'avons dit, le cordon spécial est muni d'un relais d'appel; celui-ci reste connecté à la ligne, tant que le signal n'est pas envoyé, il en résulte que si l'abonné appelle à nouveau avant la transmission de l'heure, le relais d'appel fonctionne et allume une lampe qui attire l'attention de l'opératrice.

Pour le même motif, le cordon spécial comporte en outre un relais d'isolement qui, tant qu'il n'y a pas de signal, coupe le troisième fil du cordon; le relais de coupure de la ligne et les canons de jacks ne sont pas alimentés. Il en résulte que lors d'une épreuve de test, la ligne se présente comme libre, tant que le signal n'a pas lieu. La ligne est ainsi traitée comme libre, tant qu'il n'y a pas de signal et elle peut appeler ou être appelée.

Le système ATO comporte en outre différents dispositifs accessoires qu'il est inutile de décrire ici. Il peut convenir aussi bien aux installations à batterie centrale qu'à celles à batterie locale.

Nous croyons que le système des Etablissements Hatot mériterait d'intéresser, d'une part l'administration des P. T. T. et d'autre part, les abonnés, et tout particulièrement les grandes administrations pour lesquelles la connaissance de l'heure exacte est particulièrement importante.

Il se peut que dans la période actuelle de transformation et de perfectionnement de notre outillage téléphonique, il soit encore prématuré d'envisager l'équipement complet des centraux téléphoniques en vue de la transmission de signaux de remise à l'heure. Toutefois, l'application d'un mode de transmission de l'heure, avec une meil-

leure précision que celle qui est obtenue actuellement mérite d'être étudiée, en s'inspirant des exemples fournis par les remarquables installations horaires d'Hambourg et de Strasbourg.

On peut se demander si la transmission par les lignes téléphoniques des signaux horaires que nous préconisons, ne ferait pas double emploi avec les signaux horaires de T. S. F.

Nous croyons que ces derniers signaux, qui ne sont émis que 2 fois par jour, sont seulement commodes pour les transmissions à grande distance de l'heure, destinées aux usages scientifiques et à la navigation. Les signaux horaires sur les lignes téléphoniques offriraient le précieux avantage de pouvoir être obtenus à tout instant de la journée. De plus, ils seraient reçus sans l'appareillage un peu compliqué et coûteux nécessité par les signaux de T. S. F. Le problème de la remise à l'heure entièrement automatique des pendules, deviendrait extrêmement facile à résoudre avec une parfaite sécurité, et cela au moyen de dispositifs très simples.

Les dispositifs que nous venons de décrire paraissent susceptibles de résoudre divers problèmes nécessitant des commandes à distance sélectives. On peut envisager notamment la commande des compteurs à plusieurs tarifs, et celle des interrupteurs horaires par l'envoi de courants rythmés dans les lignes téléphoniques. On évite ainsi l'appareillage coûteux que nécessitent les procédés de radiocommunication par courant de fréquence élevée, utilisant les lignes de distribution d'énergie.

En principe, pour opérer une commande sélective au moyen du réseau téléphonique, il suffit d'attribuer un numéro de téléphone au poste émetteur et d'installer au poste téléphonique récepteur un ou plusieurs relais pendulaires dont les bobinages seront montés en parallèle avec le relais ou la sonnerie d'appel. La communication entre les deux postes téléphoniques étant obtenue, on peut faire entrer en résonance un des relais pendulaires récepteurs en envoyant un courant rythmé de période convenable et de plus faible intensité que celui qui actionne normalement le relais ou la sonnerie d'appel.

Rapports Annuels de la 2^e Section du Comité sur les Progrès réalisés dans la Technique de l'Éclairage

La 2^e Section du Comité poursuivant l'heureuse initiative qu'elle a prise l'an dernier, a demandé aux spécialistes qui s'intéressent à ses travaux de lui présenter l'état des progrès réalisés l'an dernier dans la technique de l'éclairage. Nous rappellerons d'ailleurs à nouveau qu'il ne faut pas chercher, dans ces rapports, une mise au point générale des questions traitées.

SOMMAIRE :

- 1^o Les Luminaires, par M. J. DOURGNON, p. 647.
- 2^o Les Méthodes de calcul dans la technique de l'éclairage, par M. WETZEL, p. 650.
- 3^o Projecteurs et phares, p. 653.
- 4^o Tubes à néon à basse tension à cathode incandescente, par M. Maurice LEBLANC, p. 655
- 5^o La Législation de l'éclairage, par M. PARTRIDGE, p. 657.
- 6^o L'Actinothérapie en 1928, par le Dr SAIDMAN, p. 660.

Les autres rapports paraîtront dans un Bulletin ultérieur.

LUMINAIRES ET ÉCLAIRAGE INTÉRIEUR

par M. J. DOURGNON.

En ce qui concerne l'éclairage industriel et commercial, on n'a eu, au cours de l'année, aucune nouveauté intéressante à signaler. Il convient pourtant de constater un emploi de plus en plus généralisé, dans les bureaux et magasins, des diffuseurs fermés en verre opalin, ceux-ci étant, presque toujours, fixés au plafond.

En éclairage décoratif et architectural, au contraire, on peut signaler une évolution très intéressante. Jusqu'à ces derniers temps, le "modernisme" en matière de luminaire consistait surtout à adopter des formes et des matières s'écartant le plus possible de celles qui avaient été traditionnellement employées, sans qu'on puisse dire que les réalisations aient été plus nettement rationnelles.

On constate au contraire, maintenant, qu'un grand nombre d'archi-

tectes et de décorateurs se préoccupe de la façon dont l'appareil "éclaire" avant de s'inquiéter de l'aspect qu'il présente. Certains luminaires et certains dispositifs que l'expérience a montrés comme incapables (malgré tous les "truquages") de fournir un éclairage convenable, semblent devoir être progressivement abandonnés.

Comme par le passé, on constate encore deux tendances coexistantes : éclairage par luminaires interchangeable, éclairage par dispositifs incorporés à l'architecture.

Dans les luminaires proprement dits, on se préoccupe de plus en plus de supprimer, ou tout au moins de diminuer les taches brillantes produites par les sources ⁽¹⁾ et d'employer le moins grand nombre de lampes possible ⁽²⁾. Dans ce but, la meilleure solution consiste à utiliser une enveloppe en matière parfaitement diffusante (verre opalin, pâte de verre, verre émaillé, silice fondue, albâtre, etc...).

Le goût de l'artiste n'ayant plus de possibilité de s'exercer que dans certains détails de forme et dans le choix de la monture ⁽³⁾, on a néanmoins cherché à décorer les surfaces translucides unies sans nuire à leur efficacité : moirés des verres émaillés, oppositions d'émaillages mats et brillants, etc... Enfin, on a fait quelques essais d'adaptation de dispositifs "rationnel" à des appareils indépendants : réflecteurs d'éclairage indirect ou semi-indirect, placés dans des coupes "décoratives", diffuseurs ou réfracteurs entourés d'une enveloppe en verre dépoli ou en verre pressé, etc.

Dans l'éclairage architectural, il semble qu'on doive abandonner les solutions compliquées et onéreuses, qui furent de mode, pour se limiter à l'éclairage par sources peu nombreuses. L'éclairage indirect a surtout marqué de rapides progrès et ce n'est pas beaucoup s'avancer que de dire qu'il est destiné à former le "fond" primordial de tout éclairage architectural. L'emploi de rampes de lampes dans des corniches paraît en régression, on leur préfère généralement l'éclairage indirect par sources localisées, qui présente l'avantage d'une installation plus simple, plus facile d'entretien, d'une économie notable de consom-

(1) La suppression des taches brillantes a non seulement pour but d'améliorer l'aspect de l'appareil lorsqu'il est éclairé, mais elle est surtout importante en ce qu'elle permet de diminuer l'éblouissement et de donner à l'ensemble de la pièce un éclairage plus diffusé. Ce n'est qu'avec des surfaces de brillance suffisamment uniforme que le diffuseur atteint sa pleine efficacité.

(2) Cette dernière condition n'étant imposée que par la considération de la consommation d'énergie électrique.

(3) La surface apparente de l'appareil se trouve à peu près imposée. La pratique est malheureusement encore constante, de diffuseurs que des considérations "esthétiques" ont fait réaliser dans des dimensions trop faibles pour leur puissance et qui en conséquence sont loin de rendre les services qu'on était en droit d'attendre d'eux.

mation et d'une plus grande souplesse d'emploi, cela permet en outre des réalisations plus ingénieuses.

Les réflecteurs sont en général placés dans des coupes sur piédestal, ou dans des urnes, à moins qu'ils ne soient dissimulés dans des motifs en forme de bénitier placés le long des murs ou dans les angles. Dans bien des cas, on a même supprimé tout dispositif destiné à dissimuler les appareils de contrôle du flux lumineux.

D'abord dérouté, l'œil s'est habitué à voir ces appareils, notamment les réflecteurs en verre argenté, et il en est résulté une conception toute nouvelle du luminaire, lequel tire une valeur en quelque sorte décorative de l'agencement harmonieux d'un certain nombre d'éléments destinés au contrôle de la lumière (miroirs, lentilles, etc...).

Un problème à l'ordre du jour consiste à essayer d'obtenir des surfaces diffusantes (des plafonds, par exemple), qui puissent paraître à l'œil uniformément éclairés. Pour y arriver on peut, soit utiliser des réflecteurs quelconques et agir sur la forme des surfaces, soit laisser à ces dernières leur forme habituelle (généralement plane) et étudier les dispositifs optiques fournissant une répartition correspondant exactement au cas envisagé. Si le dispositif n'est pas dissimulé, il devient un luminaire au sens défini plus haut.

Certains constructeurs étudient actuellement la fabrication d'éléments optiques dont la combinaison serait susceptible de résoudre un grand nombre de problèmes d'éclairage architectural, c'est là une tendance très intéressante que nous espérons voir se développer rapidement.

LES MÉTHODES DE CALCUL DANS LA TECHNIQUE DE L'ÉCLAIRAGE

par M. WETZEL.

Conservation du flux en photométrie. — Rendement des globes diffuseurs. — Surfaces réfléchissantes mates. — Calculs des coefficients d'utilisation dans l'éclairage des espaces clos; abaques à transparent orienté. — Répartition du flux lumineux dans l'éclairage public et l'éclairage intérieur. — Eclaircissement moyen des espaces découverts.

A mesure que progresse la technique de l'éclairage, des méthodes de calcul se développent qui tendent à donner à cette technique une solide charpente mathématique. On est parfois tenté de sourire de certains calculs précis en apparence, mais dont la solution peut être contrariée dans les applications par une foule de variables imprévisibles. Certes, en éclairage plus qu'en aucune autre science, il est bon de mettre en doute l'utilité des décimales. Les appareils de mesures photométriques utilisés dans la pratique courante ne permettent souvent qu'une approximation grossière et l'œil, dont la sensibilité est légendaire, possède, grâce à cette sensibilité même, une souplesse d'adaptation si étendue qu'il est à peu près inapte à apprécier, sauf dans certaines conditions particulières, des différences d'éclaircissements considérables.

Nous pensons néanmoins que les travaux qui ont été faits sur les calculs d'éclairage doivent être encouragés car, si on prend le problème dans l'autre sens, c'est-à-dire si on considère que la lumière émise par les sources entraîne une dépense d'énergie et par conséquent une dépense d'argent, on voit que les calculs d'éclaircissements représentent une véritable comptabilité, qu'il est du devoir de l'éclairagiste de tenir aussi exactement que possible.

Nous passerons rapidement en revue, comme l'année passée, les travaux de ce genre qui ont été faits en France depuis notre précédent rapport.

Signalons d'abord une étude générale de M. BLONDEL, parue dans

le numéro d'octobre de Lux, sur le principe de la conservation du flux en photométrie. M. BLONDEL applique ce principe au calcul du rendement des globes diffuseurs, qui présente beaucoup d'analogie avec celui de l'éclairement dans les sphères diffusantes.

Le même sujet a été traité par MM. P. WAGUET et J. DOURGNON, dans un article de la R. G. E., du 23 mars 1929, sur les diffuseurs de lumière. Ils étudient, en outre, le cas particulier des diffuseurs ouverts à leur partie inférieure. Enfin, ils examinent la question de la relation de la brillance à la surface des diffuseurs. Ils exposent une méthode permettant de tracer la courbe photométrique d'un diffuseur fermé de révolution.

Dans le numéro de mars 1929 de Lux, MM. P. WAGUET et J. DOURGNON exposent certaines considérations sur les surfaces réfléchissantes mates de brillance uniforme telle que les plafonds lumineux dont les architectes font maintenant un emploi courant.

Nous avons déjà signalé, dans notre précédent rapport, une méthode de calcul des coefficients d'utilisation dans les projets d'éclairage d'espaces clos, dû à M. J. DOURGNON. Cette méthode conduisant à des calculs fort longs, pour les simplifier, M. MARGOULIS a construit une abaque suivant son système dit à « transparent orienté ». Dans un article de la R. G. E., du 22 septembre 1928, M. MARGOULIS indique les modifications qu'il fait subir aux formules données par M. J. DOURGNON, pour leur donner une forme plus favorable à l'établissement des réseaux de courbes susceptibles d'être utilisées et il indique le mode d'emploi de l'abaque.

A la réunion du Comité d'étude de la Commission Internationale de l'éclairage, qui eut lieu à Bellagio en septembre 1927, cette Commission avait demandé aux Comités Nationaux qui la constituent d'étudier et de proposer à la prochaine réunion une méthode permettant de définir, au point de vue de la distribution du flux lumineux, les qualités photométriques d'un appareil d'éclairage. Deux réponses à cette demande ont été communiquées à la Session Plénière, qui vient de se tenir à Saranac Inn, par le Comité Français de l'Eclairage et du Chauffage, réponses émanant, l'une de MM. H. DESARGES et D. DEMEURE et l'autre de M. WETZEL.

MM. H. DESARGES et D. DEMEURE préconisent une méthode destinée à déterminer la répartition du flux lumineux, de façon à réaliser un éclairage constant le long d'une ligne éclairée par une file de foyers identiques. M. WETZEL traite le même problème pour les appareils d'éclairage public, mais en introduisant une nouvelle définition du

coefficient d'uniformité, et en l'appliquant au calcul de courbes dites courbes d'uniformité permettant de caractériser les sources lumineuses et pouvant servir de base dans les projets d'éclairage à la détermination de l'écartement nécessaire pour obtenir un coefficient d'uniformité donné. Pour les appareils d'éclairage intérieur, M. WETZEL résout le problème d'une façon analogue, mais en considérant une série de foyers distribués uniformément et symétriquement dans un plan à une hauteur donnée au-dessus du sol.

M. GOUFFÉ a présenté au même Congrès de l'Eclairage une méthode de calcul de l'éclairement moyen des voies publiques et des espaces découverts, dont le principe avait d'ailleurs été déjà publié antérieurement dans la R. G. E. Le procédé employé repose sur le calcul des flux lumineux envoyés par une source sur un rectangle ou un triangle dont la source occupe un des sommets. On attribue à cette source une intensité fictive uniforme dont la détermination est faite ensuite à l'aide des données de la courbe polaire de la source.

Ainsi se complètent peu à peu les méthodes de calcul qui permettent de prévoir à l'avance, lors d'un projet d'éclairage, les résultats que l'on est en droit d'attendre d'une installation, au point de vue de la valeur moyenne des éclairements ou de leur uniformité.

PROJECTEURS ET PHARES

Nous suivrons le classement des appareils qui a été utilisé l'année dernière par M. MARSAT, Ingénieur aux Etablissements Sautter-Harlé, dans son rapport.

Projecteurs militaires ; d'automobiles ; d'éclairage ; de studios. — Phares ; la lampe à incandescence y remplace l'arc.

PROJECTEURS.

Projecteurs militaires. — D'une manière générale on a été obligé de constater que les lampes destinées à utiliser des charbons à haute intensité et comportant de multiples organes destinés à produire une automaticité complète étaient très fragiles, et, de divers côtés on s'est attaché à chercher des modèles plus simples et par suite mieux adaptés aux exigences du personnel qui a à les manœuvrer.

M. CALLOU a présenté en juin 1928 à l'Association technique Maritime et Aéronautique, une étude théorique du Miroir parabolique en verre qu'il importe de signaler.

Projecteurs d'automobiles. — L'année qui vient de s'écouler aura vu un développement considérable des lampes à deux filaments, l'un destiné à produire l'éclairage puissant autorisé en route libre, l'autre destiné à produire l'éclairage réduit, seul admis par la loi lors des croisements ou dans l'intérieur des villes.

Nous avons à signaler le rapport présenté par M. BOSSU au Congrès International de l'Eclairage de Saranac Inn et les rapports présentés à la semaine d'octobre 1928, de la Société Française des Electriciens, par MM. WAGUET et DOUGNON.

Projecteurs d'éclairage. — Ces appareils ont été utilisés pour produire les illuminations des monuments publics qui ont été si remarquées en plusieurs occasions. Pour ces effets d'illumination, on a eu recours aux appareils existants, mais il n'est pas douteux que l'on verra prochainement dans le commerce des appareils tout spécialement étudiés pour ces besoins particuliers.

Eclairage des studios. — On doit constater un progrès important dans la nature des charbons qui donnent une tonalité de lumière mieux adaptée aux courbes de sensibilité des films et permet d'éviter certains artifices qui étaient autrefois nécessaires pour qu'à la projection, le spectateur ne soit pas choqué par l'aspect des acteurs.

La lampe à incandescence tend également à gagner du terrain, mais les travaux remarquables de la Compagnie Lorraine des charbons pour l'électricité semblent avoir donné à l'arc électrique une supériorité marquée.

PHARES.

De ce côté, la bataille semble avoir été absolument gagnée par la lampe à incandescence. L'un après l'autre, tous les phares à arc sont modifiés. Les deux gros phares d'aéro-navigation du Mont Affrique et du Mont Valérien sont munis de lampes à incandescence et le premier phare qu'aperçoivent sur nos côtes les navigateurs qui viennent d'Amérique, le phare d'Eckmühl, va être prochainement transformé.

TUBES A NÉON A BASSE TENSION A CATHODE INCANDESCENTE

Par M. Maurice LEBLANC.

*Tubes à filament incandescent chauffant une plaque métallique ;
gradient de potentiel ; rendements, durée ; applications.*

Depuis longtemps on se préoccupe d'obtenir des tubes à néon à basse tension et de grande intensité. Pour y parvenir, il est indispensable de réduire la chute de potentiel à la surface de la cathode. Un moyen consiste à utiliser comme cathode un filament incandescent, mais on sait la difficulté qu'on éprouve alors à éviter sa destruction par le choc des ions positifs. La Cooper Hewitt Electric a fait sur ce type de tubes de nombreuses recherches qui ont été également poursuivies au laboratoire de la General Electric Company à Schenectady. (Voir journal *Of the American Institute of Electrical Engineers* 47, p. 747, juillet 1928). Pour éviter la destruction rapide de la cathode, on constitue celle-ci d'une plaque de métal qu'un filament incandescent chauffe par rayonnement. Quand la cathode est suffisamment chaude, on fait passer dans le tube une décharge à haute tension d'une manière analogue à celle utilisée pour l'allumage des tubes à vapeur de mercure (l'appareillage utilisé est d'ailleurs le même). Quand le tube est allumé, on peut interrompre le courant qui traverse le filament, la cathode est maintenue à une température suffisante par le choc des ions positifs.

L'anode est une clochette de fer analogue à celle des tubes à mercure, le tube est rempli de néon sous une pression d'environ 2 mm de mercure.

La chute de tension cathodique est d'environ 25 volts et la chute de tension anodique pratiquement nulle.

Le gradient de potentiel dans la colonne lumineuse à courant constant passe par un minimum pour une pression de 2 à 5 mm.

Courant : 2 ampères

Pression en mm.	Gradient en volts/cm
0,2	1,95
0,6	1,90
1,5	1,72
2,3	1,65
3,1	1,65
4,25	1,61
4,9	1,80

A pression constante, le gradient de potentiel diminue quand l'intensité dans le tube augmente.

Pression : 0,2 mm.	
Courant en ampères.	Gradient en volts/cm.
0,5	2,1
1,0	2,0
2,0	1,95
3,8	1,87
6,8	1,78

Le gradient de potentiel varie en raison inverse du diamètre du tube.

Diamètre du tube en cm.	1,28	1,95	2,25
Gradient volt/cm. . . .	3,36	2,15	1,75
Produit	4,20	4,17	4,45

Un tube de 22 mm de diamètre et de 75 cm de long peut être utilisé sur un circuit continu à 125 volts.

Pour les réseaux à courant alternatif, on utilise un tube à 2 anodes fonctionnant comme un redresseur de courant.

Des mesures photométriques montrent que l'intensité lumineuse est proportionnelle à la puissance $2/3$ du courant, mais par suite de la caractéristique négative du tube, elle est sensiblement proportionnelle à la puissance dépensée dans le tube.

Le rendement est d'environ 12 à 13 lumens par watt pour les tubes à courant continu et de 10 à 12 lumens par watt pour les tubes à courant alternatif, ce qui est à peu près le rendement d'une lampe à incandescence de 100 watts.

Sous 220 volts, un tube de 22 mm de diamètre, de 125 cm de long et consommant 3 ampères, émet environ 10 000 lumens.

L'usure des électrodes est lente et la durée du tube peut atteindre 5 000 heures, son fonctionnement est indépendant de la température extérieure.

Le maximum d'énergie est émis aux environs de la longueur d'onde 6 300 angstroms.

Ce tube est employé, combiné avec des tubes à vapeur de mercure pour la prise des films panchromatiques dans les studios de cinéma et aussi pour la signalisation.

LA LÉGISLATION DE L'ÉCLAIRAGE

par M. PARTRIDGE.

Ingénieur en Chef du Service de l'Eclairage public de la Ville de Paris.

*Historique de la législation sur l'éclairage public. — Code de la route.
Règlements sur l'éclairage des locaux affectés au travail et aux spectacles.*

L'emploi d'un éclairage artificiel après la chute du jour répond à une telle nécessité et procure tant d'avantages et de confort que le législateur n'a guère eu à intervenir pour l'imposer. Aussi, la législation de l'éclairage est-elle presque inexistante et s'est-elle bornée à l'éclairage des voies de communication, des obstacles qu'on peut y rencontrer et des voitures qui les parcourent, ainsi qu'à l'éclairage de certains établissements réglementés.

L'éclairage des voies publiques a commencé à préoccuper le pouvoir central en 1318, date à laquelle le roi Philippe V le Long enjoignit, par une Ordonnance au greffier du Châtelet, de veiller à « ce qu'une chandelle fût entretenue toute la nuit, auprès de la porte de ce tribunal, afin de déjouer les entreprises des malfaiteurs ». Dans le courant des xv^e et xvi^e siècles, des ordonnances royales et des Arrêts du Parlement prescrivirent à plusieurs reprises aux Parisiens d'entretenir des torches ou des chandelles devant leurs maisons, mais ne furent guère suivies d'effet.

Ce n'est guère qu'après l'Ordonnance du 2 septembre 1667, qu'un service d'éclairage régulier des rues de Paris, aux frais des riverains, fut instauré. Il comportait 2 736 lanternes munies de chandelles de quatre à la livre, brûlant même pendant le clair de lune, du 1^{er} novembre au 1^{er} mars. Un arrêt du Parlement du 23 mai 1671, porta la durée annuelle de l'éclairage public à cinq mois et 10 jours et en réglementa étroitement le fonctionnement.

Ces Ordonnances, qui faisaient une obligation aux riverains d'assurer l'éclairage public, furent remplacées, en 1697, par une nouvelle Ordonnance par laquelle le roi en assumait la charge à Paris et dans certaines villes de Province, mais se faisait verser par les habitants le capital nécessaire, au denier dix-huit, dont il avait par ailleurs le plus pressant besoin.

L'éclairage des rues devenait ainsi un service public. Il l'est resté depuis, mais il convient de dire que les citoyens ne furent pas quittes, par la suite, de toute charge de ce fait.

Actuellement, l'éclairage des voies publiques est dans les attributions du maire par l'exercice de ses pouvoirs de police, par l'effet de la loi des 16-24 août 1790 (tout ce qui intéresse la sécurité et la commodité du passage dans les rues, quais, places et voies publiques, ce qui comprend... l'illumination...) et y a été maintenu par l'article 97 de la loi du 5 avril 1884.

En ce qui concerne les rues de Paris, l'arrêté du 12 Messidor an VIII de la République dit, en son article 22, que « Le Préfet de Police procurera la liberté et la sûreté de la voie publique et sera chargé à cet effet d'empêcher que personne n'y commette de dégradation de la faire éclairer »... Cette charge a été depuis remise au Préfet de la Seine.

En vertu de ces pouvoirs, le Maire (à Paris, le Préfet de la Seine) peut imposer aux propriétaires des voies⁹ privées de les éclairer. C'est ainsi que l'arrêté préfectoral du 22 juin 1904, portant règlement sanitaire de la Ville de Paris, spécifie en son article 11, que « afin d'empêcher tout dépôt d'ordures et d'immondices, les voies privées devront être éclairées d'une façon suffisante ». Des arrêtés municipaux ont étendu cette obligation aux entrées et escaliers des immeubles lorsque la porte d'entrée reste ouverte après la chute du jour.

En dehors de l'éclairage général de la voie publique dans les agglomérations, le législateur a reconnu qu'il était nécessaire d'assurer l'éclairage des obstacles accidentels et des véhicules. Pour les premiers l'obligation résulte de l'article 471 du Code Pénal. Pour les seconds, elle découlait de l'application des articles 15 et 28 du règlement d'administration publique du 10 août 1852 et de l'article 2 du décret du 24 février 1858. L'importance croissante de la circulation sur les routes a d'ailleurs conduit à en préciser les conditions. C'est, après les décrets des 10 mars 1899 et 10 septembre 1901, l'objet des articles 4, 11 et 24, du décret du 31 décembre 1922, modifié le 12 avril 1927, qui constitue le « Code de la Route ». L'article 24 est particulièrement intéressant pour les éclairagistes, en ce sens qu'il prescrit de munir tout véhicule automobile marchant à une vitesse supérieure à 20 kilomètres à l'heure, d'un appareil « ayant une puissance lumineuse suffisante pour éclairer la route à 100 mètres en avant et dont le faisceau lumineux sera réglé de manière à n'être pas aveuglant pour les autres usagers de la route ». Un arrêté ministériel du 28 juillet

1923, précise les conditions que doivent remplir ces appareils dont le type est agréé par une Commission ministérielle.

L'intervention du législateur dans l'éclairage intérieur a été, comme cela se conçoit, encore plus limitée et se borne au décret du 10 juillet 1913, portant règlement d'administration publique par application de l'article 67 du livre II du Code du Travail et de la Prévoyance Sociale qui spécifie, en son article 5, pour les locaux fermés affectés au travail : « Ces locaux, leurs dépendances et notamment les passages et escaliers seront convenablement éclairés ».

En dehors de ce règlement, des arrêtés des Maires, et à Paris une Ordonnance du Préfet de police du 1^{er} janvier 1927, ont imposé aux théâtres et autres établissements de spectacles et divertissements publics, en vue d'assurer la sécurité des usagers, des conditions précises pour l'éclairage général de ces locaux et pour un éclairage dit de sécurité.

On voit par là que c'est aux progrès de la technique, qui ont mis à la portée de tous des moyens d'éclairage puissant, beaucoup plus qu'à la loi, que nous devons d'être toujours mieux éclairés.

L'ACTINOTHÉRAPIE EN 1928

Par le D^r Jean SAIDMAN

Directeur de l'Institut d'Actinologie.

Photosensibilisation. — Substances irradiées. — Sensitométrie cutanée. — Semaine internationale de la lumière en juillet 1929.

Le développement des applications thérapeutiques de la lumière ne s'est pas ralenti en 1928, mais leur progrès a surtout porté sur des détails.

Des conférences internationales tenues à Lausanne, à Stockholm et à Londres ont permis de mettre au point certaines questions.

L'une d'elles, peut-être même la plus intéressante par son avenir, est la *photo-sensibilisation*. Le professeur JAUSION a poursuivi de nombreuses recherches sur ce sujet, c'est-à-dire, sur l'application en médecine, de la photo-sensibilisation optique.

Chacun sait comment, à la suite de VOGEL, on sensibilise chimiquement les plaques photographiques habituellement sensibles seulement au-dessous de 5 000 Å, de façon à pouvoir enregistrer les longueurs d'onde supérieures.

Or, à certains points de vue, la peau humaine se comporte comme un papier photographique à noircissement direct, c'est-à-dire rougit d'abord (érythème) pour brunir ensuite (pigmentation) sous l'influence des radiations ultra-violettes de longueur d'onde inférieure à 3 200 Å. C'est d'ailleurs en grande partie par l'intermédiaire de ces processus qu'agit l'actinothérapie.

De même que pour la photographie, on peut réussir à augmenter la sensibilité spectrale de la peau, pour l'ultra-violet de plus grande longueur d'onde et même pour les rayons visibles, en donnant (surtout par voie interne, buccale ou injections), des sensibilisateurs (substances fluorescentes, comme pour la photographie). Les premiers expérimentateurs, depuis RABL TAPPEINER et ses élèves, TITZE, HAUSSMANN et DREYER, employaient surtout l'éosine, mais les résultats thérapeutiques n'ont pas été suffisamment favorables et la méthode est tombée dans l'oubli. Un essai récent de GYORCY, pour le traitement du rachitisme par sensibilisation à l'éosine ne s'est guère répandue.

Les recherches de JAUSION, faites à l'Hôpital militaire de Val de

Grâce, ont eu comme point de départ l'observation de « coups de soleil » chez les militaires traités par la gonacrine (chlorométhylate de diamine-acridine) pour des affections blennorragiques. Il vit, avec MARCERON, que ces « coups de soleil » se justifient par le fait que les malades étaient devenus photosensibles. JAUSION eut l'idée d'utiliser ce produit pour augmenter l'efficacité de l'actinothérapie chez les sujets atteints de pelade, de psoriasis et de diverses affections, surtout cutanées. Il a associé à la gonacrine, le bleu de méthylène, la pyridine ou l'éosine. Il a également essayé le pantochrome Lumière.

HAUSSMANN a montré, par l'expérimentation sur l'animal, les effets biologiques des sensibilisateurs dont il avait étudié auparavant le rôle important en pathologie. Il n'est pas douteux aujourd'hui que certaines maladies résultent de la présence, dans le sang, de substances qui rendent les sujets normalement sensibles à la lumière — en les photosensibilisant. Tel est le cas d'une grave maladie appelée *hydra vacciniiforme*, où l'on incrimine la sensibilisation par l'hématoporphyrine.

On a publié dans ces dernières années, plusieurs cas d'*urticaire solaire*, dont ceux de PASTEUR-VALLÉRY-RADOT, BESANÇON et SAIDMAN avaient une sensibilisation jusqu'au voisinage de 5 000 Å.

Le rapport de REYN au Congrès de Stockholm et à la Conférence de Lausanne, concernait le traitement de *la tuberculose de la peau* par la photothérapie locale combinée avec les bains de lumière généraux. L'appareil classique de Finsen a subi quelques modifications : HAXTHAUSEN utilise un arc plus intense (110 ampères au lieu de 50 dans l'appareil précédent), dont le rayonnement est concentré de façon à obtenir une surface de 2 cm et filtré par un verre Uviol ou une solution de chlorure de cobalt dans de l'alcool absolu.

Diverses publications se rapportent à des *substances irradiées* (ou activées) et que de nombreuses maisons pharmaceutiques ont lancé dans le commerce. Des abus s'ensuivent, car on expose aux ultra-violets toutes sortes de substances — et même des suppositoires pour hémorroïdes. En réalité, les seuls résultats probants ont été obtenus dans le traitement du rachitisme de l'enfant, ou de certains troubles de la calcification, à condition que la substance irradiée contienne de l'ergostérine qui acquiert, après l'irradiation, les propriétés d'une vitamine.

La facilité d'emploi de ces substances et quelques résultats brillants obtenus, avaient contribué à introduire les corps irradiés parmi le public médical. Il semble qu'une réaction commence à se dessiner. LESNÉ

et ses élèves (CLÉMENT, etc...) ont remarqué que l'action thérapeutique des substances irradiées est très variable, selon leur provenance; ils ont proposé à l'Académie de Médecine d'adopter un dosage biologique.

Il semble d'ailleurs que ces substances ne soient pas tout à fait inoffensives, car DREYER a rapporté des expériences où des lésions rénales avaient été provoquées par l'ergostérine activée. Ces faits sont encore trop récents pour avoir obtenu une confirmation clinique.

La méthode de la sensibilité cutanée, créée par SAIDMAN, a donné lieu à diverses recherches. LIONNET a consacré sa thèse de la Faculté de Médecine aux applications cliniques de cette méthode chez les nourrissons étudiés à l'Hôpital de la Salpêtrière. SAIDMAN et MEYER ont publié quelques moyennes observées dans les maladies de la peau. SAIDMAN et DUFESTEL ont signalé les variations de sensibilité selon l'âge des sujets. HICKEL a utilisé la même méthode dans l'étude de la sensibilisation locale, avec diverses substances fluorescentes. LAUTMANN a comparé les réactions cutanées indiquées par le « Test » avec l'intensité de la cuti-réaction à la tuberculine.

Les multiples recherches poursuivies dans ces dernières années feront l'objet d'une mise au point dans le *premier Congrès International d'Actinologie*, qui aura lieu du 22 au 27 juillet 1929. Ce Congrès est organisé par l'Institut d'Actinologie, sous la Présidence de M. le Professeur d'ARSONVAL et sous la Vice-Présidence de MM. les Professeurs FABRY et STROHL.

Parmi les questions à l'ordre du jour, figure le choix d'une unité de mesure pour le rayonnement utilisé en thérapeutique. Une autre question ardue est l'étude de la valeur prophylactique des rayons ultraviolets. On discutera l'utilité ou le danger des lampes individuelles d'irradiation utilisées par les malades eux-mêmes, selon la formule préconisée par certains constructeurs Anglais ou Allemands.

En même temps que le Congrès aura lieu au Grand Palais une *Exposition des appareils* utilisés en actinothérapie : lampes diverses, appareils d'analyses et de mesures, sources d'électricité, dispositifs d'irradiation, etc... Nous organisons en outre une exposition rétrospective, sous la Présidence du Dr CAPITAX, Professeur au Collège de France, avec des documents sur l'exposition solaire depuis l'antiquité jusqu'à la création de la photothérapie moderne, avec les premières lampes de Finsen.

L'Institut d'Actinologie prépare en outre une section documentaire,

avec des photographies, des moulages et des films cinématographiques.

Il sera reconstitué quelques salles typiques du futur Institut — et notamment une « plage artificielle » perfectionnée, ainsi que des cabines d'irradiation disposées de façon à permettre une surveillance collective.

Des cours élémentaires, des démonstrations techniques et des conférences faites par des Savants de divers Pays, donneront aux Congressistes des aperçus aussi intéressants pour le profane que pour le spécialiste.

Nous espérons que cette « Semaine Internationale de la Lumière », placée par l'Institut d'Actinologie, sous le haut Patronage de M. le Président de la République et M. le Président du Conseil, intéressera également les électriciens. Nous prions les personnes qui désirent obtenir des renseignements complémentaires, de s'adresser au D^r DUFESTEL, Secrétaire Général, à Paris, 150 *bis* Bd. Péreire.

TRAVAUX DES SECTIONS

6^e SECTION.

RECHERCHES PHYSIQUES. — PHYSIOLOGIE.

APPAREILS DE MESURE.

Président : M. LIÉNARD.

SÉANCE DU 26 JANVIER 1929. — I. — *Discussion des notes de M. BU-DEANU et de M. LIÉNARD sur l'énergie réactive.*

M. ILIOVICI présente à ce sujet la note suivante :

Sur la relation entre la puissance réactive et les oscillations de l'énergie dans un circuit.

Nous sommes d'accord avec M. LIÉNARD, qu'on ne peut rattacher la notion de puissance réactive aux oscillations de *l'énergie intrinsèque*, si on entend par ce terme l'énergie totale emmagasinée dans le champ magnétique produit par l'ensemble des circuits en présence, comme c'est le cas dans l'exemple cité par M. LIÉNARD (1).

Nous nous proposons de montrer qu'il existe pourtant, dans chaque cas, une énergie dont les oscillations provoquent les phénomènes réactifs.

Cette énergie n'est pas toujours celle emmagasinée dans une partie de l'espace, *mais c'est la partie oscillatoire de l'énergie produite par la source par rapport à laquelle se produisent les phénomènes réactifs*. Ce sera habituellement de l'énergie magnétique ou électrique, mais elle pourra n'être qu'une partie de l'énergie totale emmagasinée dans l'espace, même si l'ensemble des circuits ne comporte qu'une seule source.

Considérons le cas simple d'une source alimentant un circuit contenant une résistance et une réactance.

(1) Nous laissons de côté pour l'instant la considération du champ électrique, pour ne pas compliquer le problème.

On a :

$$u = ri + l \frac{di}{dt},$$

d'où on tire :

$$ui dt = ri^2 dt + li di,$$

$$ui dt = ri^2 dt + d\left(\frac{l}{2} i^2 + A\right),$$

A étant une constante.

L'énergie fournie par la source entre les instants t_0 et t est :

$$W = \int_{t_0}^t ui dt = r \int_{t_0}^t i^2 dt + \frac{l}{2} (i^2 - i_0^2)$$

i étant la valeur du courant au temps t , i_0 à l'instant t_0 .

On peut écrire : $W = W_1 + W_2$.

en posant :

$$W_1 = r \int_{t_0}^t i^2 dt \quad \text{et} \quad W_2 = \frac{l}{2} (i^2 - i_0^2).$$

Supposons d'abord u et i sinusoïdaux, l'énergie W_1 est une fonction croissante de t , c'est de l'énergie transformée en chaleur au fur et à mesure de sa production, tandis que W_2 est une fonction oscillatoire et c'est l'existence de cette énergie oscillatoire qui provoque les phénomènes réactifs.

Le maximum de W_2 est :

$$W_{2\max} = \frac{l}{2} (I_m^2 - i_0^2)$$

et son minimum :

$$W_{2\min} = -\frac{l}{2} i_0^2;$$

l'amplitude de l'oscillation de la fonction W_2 est :

$$\Delta W = W_{2\max} - W_{2\min} = \frac{l}{2} I_m^2 = lI^2, \quad (1)$$

I étant la valeur efficace de i .

Considérons maintenant un circuit comportant une résistance r , une selfinduction l et une capacité C , montées en série. On a successivement :

$$u = ri + l \frac{di}{dt} + \frac{q}{C},$$

$$ui dt = ri^2 dt + li di + \frac{q}{C} i dt,$$

$$ui dt = ri^2 dt + d\left(\frac{l}{2} i^2 + \frac{q^2}{2C} + A\right).$$

L'énergie fournie par la source entre les instants t_0 et t est :

$$W = W_1 + W_2 \quad \text{avec} \quad \dot{W} = \int_{t_0}^t ui \, dt,$$

$$W_1 = r \int_{t_0}^t i^2 dt \quad \text{et} \quad W_2 = \frac{1}{2} \left(li^2 + \frac{q^2}{C} \right) - \frac{1}{2} \left(li_0^2 + \frac{q_0^2}{C} \right).$$

L'énergie W_1 est la même que dans le cas précédent, elle est à variation toujours dans le sens croissant.

L'énergie W_2 est oscillatoire. Si on suppose

$$li_m^2 > \frac{Q_m^2}{C},$$

on a :

$$W_{2\max.} = \frac{1}{2} li_m^2 - \left(i_0^2 + \frac{q_0^2}{C} \right)$$

et :

$$W_{2\min.} = \frac{1}{2} \frac{Q_m^2}{C} - \frac{1}{2} \left(li_0^2 + \frac{q_0^2}{C} \right).$$

L'amplitude de ses oscillations est :

$$\Delta W = W_{2\max.} - W_{2\min.} = \frac{1}{2} li_m^2 - \frac{1}{2} \frac{Q_m^2}{C}$$

$$\text{ou} \quad \Delta W = li^2 - \frac{Q^2}{C}, \quad (2)$$

l et Q étant les valeurs efficaces de i et q .

Remarque. — Les valeurs de ΔW données par les formules (1) et (2) sont identiques à celles obtenues par la formule :

$$\Delta W = \frac{1}{T} \int_0^T \varphi i \, dt, \quad \text{en posant} \quad \frac{d\varphi}{dt} = u, \quad (3)$$

et à celles obtenues par la formule

$$\Delta W = -\frac{1}{T} \int_0^T uq \, dt. \quad (4)$$

Nous verrons dans la suite que l'identité entre les résultats obtenus par les deux manières de voir existe dans le cas général.

Considérons maintenant l'exemple étudié par M. LIÉNARD, c'est-à-dire le cas de deux circuits en présence ; mais nous admettrons, pour simplifier, que le premier circuit comporte seul une source. On a :

$$u = ri + l \frac{di}{dt} + m \frac{di'}{dt},$$

$$0 = r'i' + l' \frac{di'}{dt} + m \frac{di}{dt}.$$

On peut trouver immédiatement la relation :

$$ui \, dt = \underbrace{(ri^2 + r'i'^2)}_{\text{effet Joule}} dt + d\left(\frac{1}{2} li^2 + mi i' + \frac{1}{2} l'i'^2 + A\right).$$

Le premier terme du second membre représente l'énergie dépensée par effet Joule dans les deux circuits, tandis que :

$$\left(\frac{1}{2} i^2 + m i i' + \frac{1}{2} l' i'^2\right)$$

représente l'énergie intrinsèque de l'ensemble des deux circuits; mais ce n'est pas l'oscillation de cette énergie qui produit les phénomènes réactifs *par rapport à la source u et le circuit parcouru par le courant i*, parce que *i* n'étant pas en phase avec *i'*

$$\int_{t_0}^t (ri^2 + r'i'^2) dt$$

ne varie pas constamment dans le même sens, elle contient donc une partie oscillatoire.

Si on suppose *u* et *i* sinusoïdaux, on obtient facilement la relation :

$$u = \mathcal{R}i + \mathcal{L} \frac{di}{dt},$$

en posant :

$$\mathcal{R} = r + \frac{m^2 \omega^2}{r'^2 + l'^2 \omega^2} r' \quad \text{et} \quad \mathcal{L} = l - \frac{m^2 \omega^2}{r'^2 + l'^2 \omega^2} l',$$

d'où on tire :

$$\int_{t_0}^t ui \, dt = \mathcal{R} \int_{t_0}^t i^2 dt + \frac{1}{2} \mathcal{L} (i^2 - i_0^2).$$

C'est l'oscillation de l'énergie

$$\frac{1}{2} \mathcal{L} (i^2 - i_0^2)$$

qui produit les phénomènes réactifs dans le circuit (*u*, *i*); l'amplitude de cette oscillation est :

$$\Delta W = \mathcal{L} i^2$$

résultat conforme à celui obtenu par la formule (3) ⁽¹⁾.

Considérons maintenant une bobine de réactance triphasée symé-

(1) Remarquons que $\mathcal{R} \int_{t_0}^t i^2 dt = W_1$ ne représente plus l'énergie dépensée en effet Joule dans la résistance *r*, ni dans les deux résistances *r* et *r'*; mais elle représente l'énergie qui, *par rapport à la source u et le circuit i*, disparaît au fur et à mesure de sa production, pour se transformer partie en chaleur, tandis que le reste est transmis au circuit secondaire.

trique. On a :

$$u_1 = ri_1 + l \frac{di_1}{dt} + m \frac{di_2}{dt} + m \frac{di_3}{dt},$$

et en tenant compte de $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

$$u_1 = ri_1 + (l - m) \frac{di_1}{dt}.$$

On aura de même :

$$u_2 = ri_2 + (l - m) \frac{di_2}{dt},$$

$$u_3 = ri_3 + (l - m) \frac{di_3}{dt}.$$

L'énergie intrinsèque de la bobine est constanté, étant égale à

$$\frac{1}{2} (l - m)(i_1^2 + i_2^2 + i_3^2) = \frac{3}{2} (l - m)I^2,$$

mais l'énergie oscillatoire fournie par l'une des sources, par exemple la source 1, est

$$\frac{1}{2} (l - m)(i_1^2 - i_{10}^2)$$

et l'amplitude de son oscillation est : $(l - m)I^2$.

La façon de voir ci-dessus permet de se rendre compte de l'influence d'un collecteur sur les phénomènes réactifs : son rôle est de réduire, dans certaines conditions, l'amplitude des oscillations de l'énergie oscillante, ou, dans d'autres cas, de changer le sens des oscillations.

Pour nous placer dans des conditions simples, supposons qu'on ajoute un collecteur à la bobine de réactance triphasée étudiée précédemment. Les équations de la bobine deviennent :

$$u_1 = ri_1 + (l - m) \frac{(\omega - \omega')}{\omega} \frac{di_1}{dt},$$

$$u_2 = ri_2 + (l - m) \frac{(\omega - \omega')}{\omega} \frac{di_2}{dt},$$

$$u_3 = ri_3 + (l - m) \frac{(\omega - \omega')}{\omega} \frac{di_3}{dt},$$

ω étant la pulsation du courant dans le circuit extérieur, ω' la vitesse de rotation de l'anneau à collecteur ; i_1 , i_2 , i_3 sont les courants dans l'anneau ramenés à la fréquence du circuit extérieur.

L'énergie oscillante fournie par la source de tension u_1 par phase du circuit extérieur, est :

$$W_1 = \frac{1}{2} (l - m) \left(\frac{\omega - \omega'}{\omega} \right) [i_1^2 - i_{10}^2]$$

et sa variation maximum (l'amplitude de sa variation) est :

$$\Delta W = (l - m) \frac{\omega - \omega'}{\omega} I^2.$$

On voit que pour $\omega' < \omega$, ΔW est d'autant plus faible que l'anneau tourne plus vite; pour la vitesse de synchronisme ($\omega' = \omega$) l'amplitude devient nulle et les phénomènes réactifs disparaissent; pour $\omega' > \omega$ les oscillations changent de signe.

Cas général. — Dans le cas le plus général d'un courant sinusoïdal, on peut mettre l'énergie $dW = u i dt$ sous la forme :

$$u i dt = a i^2 dt + d \left(\frac{1}{2} b i^2 \right),$$

l'énergie oscillatoire fournie par la source sera :

$$\frac{1}{2} b (i^2 - i_0^2),$$

et l'amplitude (maximum) de son oscillation sera :

$$\Delta W = b I^2.$$

Si $i = \sqrt{2} I \sin \omega t$ et $u = \sqrt{2} U \sin (\omega t + \varphi)$,
on a :

$$a = \frac{U}{I} \cos \varphi \quad \text{et} \quad b = \frac{U \sin \varphi}{\omega I},$$

donc :

$$\Delta W = \frac{U I \sin \varphi}{\omega}$$

qui est aussi le résultat obtenu par la formule (3).

Cas des courants non sinusoïdaux. — La même façon de voir peut s'appliquer aux courants alternatifs non sinusoïdaux, mais pour obtenir les mêmes résultats que ceux donnés par (3), il faut admettre que les phénomènes réactifs ne sont produits que par les énergies oscillantes obtenues par l'action de chaque harmonique de la tension sur l'harmonique correspondant du courant.

Conclusion. — On peut conclure de l'étude précédente que les phénomènes réactifs sont bien caractérisés par la formule :

$$-\frac{1}{T} \int_0^T \varphi i dt, \quad (3)$$

et par conséquent, si on veut adopter une formule définissant la puissance réactive dans le cas général et qui se ramène à $U I \sin \varphi$ pour les courants sinusoïdaux, il est préférable d'adopter la formule que nous

avons proposée :

$$P_r = \frac{\omega}{T} \int_0^T \varphi_i dt,$$

de préférence à celle proposée par M. BUDEANU et M. BUNET, à laquelle ne paraît pas correspondre de phénomène physique.

Il est pourtant possible, que dans certaines formules intervienne une autre fonction des quantités $(U_n I_n \sin \varphi_n)$, par exemple $\Sigma U_n I_n \sin \varphi_n$ qui représente ce que MM. BUDEANU et BUNET définissent comme puissance réactive ou en général :

$$(\Sigma_p U_n I_n \cos \varphi_n),$$

p étant un nombre entier ou fractionnaire.

Cela peut tenir à ce que le phénomène qu'on étudie n'est pas produit directement par les phénomènes réactifs, mais peut être influencé par la forme des courants et des tensions.

M. LIÉNARD constate avec plaisir son accord avec M. ILIOVICI sur l'absence de relation entre la puissance réactive et les oscillations de l'énergie intrinsèque, mais il regrette de ne pouvoir le suivre dans ses considérations sur les oscillations de la puissance fournie par la source. Si, dans quelques exemples particulièrement simples, la décomposition de ui en deux termes est naturelle, il n'en est plus de même pour le cas du transformateur à une seule source.

Les quantités

$$\mathcal{R}i^2 \quad \text{et} \quad \frac{1}{2} \mathcal{L}i^2$$

ne représentent rien au point de vue physique et la décomposition de ui en

$$\mathcal{R}i^2 \quad \text{et} \quad \frac{1}{2} \frac{d}{dt} (\mathcal{L}i^2)$$

est une décomposition artificielle faite uniquement dans le but de trouver une grandeur dont les oscillations soient proportionnelles à la puissance réactive.

M. POMER rappelle qu'il a traité de l'énergie réactive dans les *Annales des P. T. T.*, 1925, p. 1051 (propagation de la puissance sur les lignes) et dans la *R. G. E.*, 31 mars 1928, p. 572 (énergie transmise par un quadripole).

II. — M. BETHENOD résume une communication sur *La propagation du froid par l'effet Peltier* ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Cette communication qui a été présentée en séance publique de la Société sera publiée dans un *Bulletin* ultérieur.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ.

Applications de l'Electricité aux Mines, par Georges HAGAULT. Edité par J.-B. Bailliére. Un volume broché 23×16 de 552 pages. — Don de l'éditeur.

RECHERCHES PHYSIQUES.

Introduction à l'étude de la Physique théorique, par FORTRAT René. IV^e fascicule. Edité par Hermann et C^{ie}, 6, rue de la Sorbonne, à Paris. Un fascicule 22×14 de 180 pages. Prix : broché, 10 fr. — Don des éditeurs.

L'Electron et les applications de l'Electricité, par Marcel BOLL. Edité par Albin Michel, 22, rue Huygens, à Paris. Un volume broché 19×14 de 404 pages. Prix : 15 fr. — Don de l'éditeur.

Ondes et Electrons, par P. BRICOUT. Edité par Armand Colin, 103, boulevard Saint-Michel à Paris. Un volume broché $17 \times 11 \frac{1}{2}$ de 216 pages. Prix : 9 fr. — Don des éditeurs.

CONGRÈS. — STATISTIQUES. — ACTES OFFICIELS. — ANNUAIRES.

A. E. G. Mitteilungen, à Berlin. Un volume 30×21 , année 1928. — Don de l'Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft Literarisches Büro.

Compte rendu du 2^e Congrès international de l'Union Internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique, tenu à Paris du 5 au 16 juillet 1928. Un volume 30×21 de 960 pages. broché.

Sadi Carnot, biographie et manuscrit publiés sous le haut patronage de l'Académie des Sciences, avec une introduction de M. Emile PICARD, de l'Académie française, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. Un volume 28×23 broché de 96 pages. — Don de M. Paul Janet.

ENSEIGNEMENT

Cours élémentaire d'électricité industrielle, par H. BERNARDEAU, licencié ès sciences, ingénieur à l'Ecole supérieure d'électricité. Edité par le Syndicat général des Installateurs Electriciens français, 25 boulevard Malesherbes, à Paris. Une brochure 21×13 de 194 pages. — Don de l'auteur.

Problèmes de statique graphique et de résistance des matériaux, par Louis ROY. Edité par Gauthier Villars et C^{ie}, à Paris, 55 rue des Grands-Augustins. Un volume broché 22×14 de 120 pages. Prix : 30 fr. — Don des éditeurs.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS ⁽¹⁾

RECHERCHES PHYSIQUES.

Introduction à la Physique des Rayons X et gamma, par MM. Maurice DE BROGLIE, membre de l'Institut, et Louis DE BROGLIE, docteur ès sciences. Un volume 16^{cm} × 24^{cm} de 201 pages. 64 figures 1928 Editeur : Gauthier-Villars et C^{ie}. libraires du Bureau des Longitudes et de l'Ecole Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins, Paris — Don des éditeurs.

Les recherches expérimentales dont les rayons X et gamma ont été l'objet depuis leur découverte ont montré que les théories de l'Optique classique, applicables aux radiations visibles, ne pouvaient expliquer les phénomènes présentés par ces nouvelles radiations. Il s'est établi, à la suite de ces recherches, une véritable dualité de points de vue qui s'est étendue à l'optique : certaines expériences prouvent indubitablement la nécessité de faire intervenir des vibrations transversales et sinusoïdales de fréquences déterminées. Les longueurs d'onde X et gamma étant mille fois plus petites que les ondes lumineuses ; d'autres expériences, non moins probantes, suggèrent avec force pour ces radiations l'hypothèse d'une structure discontinue, granulaire de l'énergie.

Les auteurs donnent une vue d'ensemble de ces deux séries d'évidences expérimentales en apparence opposées, puis ils examinent dans quelle direction il semble falloir s'orienter pour les concilier. Ils remarquent que « si la théorie ondulatoire paraît incapable de rendre compte de certains phénomènes très importants et très bien établis, elle a du moins l'avantage de se suffire à elle-même. Il n'en est pas de même pour l'hypothèse des quanta de lumière, considérée isolément, car elle définit l'énergie du quantum par une relation où « figure la fréquence de la radiation ; or, la théorie strictement corpusculaire ne possède aucun moyen de définir une fréquence et, incapable de rendre compte de l'optique physique, elle ne peut même pas prouver nettement les concepts dont elle fait usage.

« Ceci nous porte à croire que la vérité doit être dans une synthèse des deux points de vue ondulatoire et granulaire ; on dira qu'une radiation est formée par une onde présentant des singularités ponctuelles où se trouve concentrée la totalité ou la presque totalité de son énergie, chaque singularité étant pourvue d'un quantum d'énergie ».

Les chapitres de l'ouvrage sont les suivants : Nature des rayons X et γ ; préliminaires à la théorie de l'Atome ; la théorie atomique de Bohr ; les spectres X caractéristiques ; les raies X et la structure de l'atome ; le spectre X continu ; l'absorption des rayons X ; l'effet photo-électrique ; le noyau atomique ; rayons de très courte et de très grande longueur d'onde ; la diffusion des rayons X et γ , sans changement de fréquence, avec changement de fréquence ; diffraction par les cristaux ; optique physique des rayons X ; compléments ; quelques considérations de thermodynamique et d'astrophysique.

Toutes les propriétés des rayons X et γ , les méthodes qui ont servi à les expérimenter, les théories qui ont été émises pour expliquer les phénomènes auxquels ils donnent naissance et le processus des échanges entre la matière et le rayonnement sont exposés avec une maîtrise qui inspire au lecteur un sentiment de profonde admiration pour les savants auteurs de ce bel ouvrage.

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société Française des Electriciens, 14, avenue Pierre-Larousse, de 14 à 18 heures, tous les jours, sauf le dimanche

Traité de Physique, par O. D. CHWOLSON, professeur ordinaire à l'Université Impériale de Saint-Petersbourg. Ouvrage traduit sur les éditions russe et allemande par E. DAVAUX, ingénieur principal de la Marine, 2^e édition française entièrement refondue et considérablement augmentée par l'Auteur, avec des additions et des notes par M. E. COSSERAT, correspondant de l'Institut, directeur de l'Observatoire de Toulouse et M. F. COSSERAT, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, ingénieur en chef à la C^{ie} des Chemins de fer de l'Est.

— Tome I (1^{er} volume). Introduction, mécanique, méthodes et instruments de mesure. Un volume 17^{cm} × 25^{cm} de 515 pages, avec 229 figures dans le texte. 1912.

— Tome I (2^e fascicule). Etat gazeux des corps et notes sur la Physique théorique. Un volume 17^{cm} × 25^{cm} de 147 pages, avec 60 figures dans le texte. 1906.

— Tome IV (2^e fascicule). Champ magnétique constant. Un volume 17^{cm} × 25^{cm} de 732 pages, avec 284 figures dans le texte. 1913.

Editeur : librairie scientifique A. Hermann et fils, 6, rue de la Sorbonne, Paris, 5^e. — Don de l'éditeur.

Dans la préface de la première édition de cet ouvrage, qui remonte à 1908, l'éminent physicien français E.-H. Amagat disait combien est hérissée d'écueils et de difficultés la tâche d'écrire un traité de physique un peu complet, dans lequel une place doit nécessairement être donnée aux idées nouvelles, tout en respectant les théories classiques, dont plusieurs sont des modèles de clarté et de précision et dont la fécondité paraît loin d'être épuisée.

M. Chwolson a mis tous ses soins à éviter ces écueils et à vaincre ces difficultés, et grâce aux nombreuses et importantes additions qu'il a faites simultanément dans l'édition française et dans les éditions russes, ainsi qu'à celles non moins importantes qui sont l'œuvre de M. Davaux et de MM. Cosserat, ce *Traité de Physique* intéresse à la fois l'étudiant et le chercheur, le physicien et l'ingénieur, le chimiste et le naturaliste. Par sa partie purement descriptive et expérimentale, il est à la portée de tous les lecteurs qui s'intéressent aux applications de la physique et de la mécanique.

Le tome I est consacré à l'étude du mouvement (mécanique), des états physiques de la matière (forces moléculaires), du son (acoustiques), et de ce qu'on peut rapporter en général à la considération de l'énergie mécanique.

Il comprend plusieurs volumes. Le premier traite notamment des méthodes et des instruments de mesure ; le second se rapporte à l'étude des gaz.

Le tome II traite de l'énergie rayonnante et le tome III de l'énergie calorifique.

Le tome IV traite de l'énergie électrique ; il comprend plusieurs fascicules, le deuxième est consacré à l'étude du « champ magnétique constant ».

Matière, électricité, radiations, par Marcel BOLL, professeur agrégé de l'Université, docteur ès sciences. Un volume 12^{cm} × 19^{cm} de 127 pages. 40 figures. Bibliothèque des chercheurs et des curieux. Paris, Delagrave. 1929.

Comme il le dit lui-même dans un préambule, l'auteur a entrepris de présenter à un public non spécialisé et en respectant l'ordre historique des découvertes, l'ensemble des théories corpusculaires qui caractérisent la physique moderne.

Il expose ces théories, il ne prouve pas leur exactitude, puisqu'il ne pourrait le faire qu'en recourant à des considérations mathématiques qu'il s'interdit résolument.

Il cherche et il réussit à donner, par des comparaisons prises dans l'échelle du monde visible, des notions sur les dimensions de ces édifices discontinus et mouvants que constituent les électrons, les protons, les magnétos, les photons, les grains de rayonnement. Historiquement, il nous conduit de Démocrite à de Broglie, par Laplace, Ampère et Dalton.

Ce petit livre, d'une clarté parfaite, est à lire par tous ceux qui veulent se tenir au courant des résultats obtenus en physique, sans avoir le temps ou la possibilité de suivre les savants calculs qui ont permis de les atteindre.

L'électron et les applications de l'électricité, par Marcel BOLL, agrégé de l'Université, docteur ès sciences, professeur à l'Ecole des Hautes Etudes Commerciales. Un volume $14^{\text{cm}} \times 19^{\text{cm}}$ de 404 pages, avec 240 figures, un appendice et deux index alphabétiques, de la « Bibliothèque d'Education par la Science », dirigée par M. Emile Borel. Prix : 20 fr. Editeur : Albin Michel, 22, rue Huyghens, Paris, 14^e. — Don de l'éditeur.

L'auteur montre très clairement sans recourir aux mathématiques supérieures, le rôle que joue l'électron dans les applications de l'électricité, éclairage, force motrice, chauffage électrique, etc. ; comment l'électron est en train de révolutionner la musique par la phonographie et de réaliser la vision à distance, comment une seule et même cause intervient dans tous les phénomènes électriques.

MANUELS ET DICTIONNAIRES

A Dictionary of applied physics, edited by Sir RICHARD GLAZEBROOK, K. C. B., D Sc FRS in five volumes. Editeur : Mac Millan and Co Limited, St Martin's Street, London. — Volume II. *Electricity*. 1922, un volume $16^{\text{cm}} \times 24^{\text{cm}}$ de 1104 pages, très nombreuses figures. Prix relié : 63 s. net. — Volume IV. *Light, Sound, Radiology*. 1923, un volume $16^{\text{cm}} \times 24^{\text{cm}}$ de 914 pages, très nombreuses figures. Prix relié : 63 s. net.

Le volume II de ce dictionnaire, consacré à l'électricité contient la théorie et la description des machines et des appareils qui produisent, transforment et emploient l'énergie électrique sous forme de courant continu et alternatif, la théorie, la description et le mode d'emploi des appareils utilisés pour les mesures magnétiques et électriques, pour l'étude des matériaux employés en électrotechnique, enfin, l'étude de toutes les applications de l'électricité.

Le volume IV comprend tout ce qui se rapporte à l'optique, à l'acoustique, à l'étude et à l'emploi des diverses radiations : cristallographie, travail du verre, calcul des systèmes optiques, construction et mode d'emploi des appareils optiques, acoustiques, spectroscopie, photométrie, microphotographie. Mesure des longueurs d'onde, réfractomètres, interféromètres, radioactivité.

Ces ouvrages richement édités sont illustrés de très nombreuses figures qui en rendent la lecture facile et agréable.

Comment utiliser l'électricité dans la maison, par P. MAURER, ingénieur à la Compagnie Parisienne de distribution d'électricité, professeur à l'Ecole d'électricité Bréguet et l'Ecole de Mécanique et d'Electricité industrielles. Un volume $16^{\text{cm}} \times 25^{\text{cm}}$ de 166 pages, 69 figures. Editeur : Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris. — Don de l'éditeur.

Dans cet ouvrage de vulgarisation, l'auteur se donne pour but de faire comprendre aux consommateurs comment ils doivent utiliser pratiquement les appareils domestiques qu'il décrit. La première partie de l'ouvrage est consacrée aux principes indispensables de l'électricité ; la seconde, à la production de l'électricité et à la distribution de l'électricité dans les villes, les villages, les maisons.

Un chapitre traite des installations intérieures des appareils de mesure, des systèmes de tarification, de l'entretien et de la vérification d'une installation.

Dans la troisième partie, le lecteur trouvera, avec la description des principaux appareils domestiques, leur consommation moyenne et la manière de les monter.

Dans la quatrième et dernière partie, l'auteur envisage les développements futurs des applications domestiques de l'électricité.

Par les utiles enseignements qu'il contient, ce livre mérite de devenir le *vade mecum* de tout consommateur d'électricité domestique.

Comptes rendus détaillés du XXI^e Congrès International de Tramways, de Chemins de fer d'intérêt local et de Transports publics automobiles. Rome 6-13 mai 1928. Un volume 24^{cm} × 30^{cm} de 852 pages, richement illustré de nombreuses figures photographiques, dessins, diagrammes hors texte. Publié par l'Union Internationale de Tramways, de Chemins de fer d'intérêt local et de Transports publics automobiles. Secrétariat général de l'Union, 112, rue du Trône, Bruxelles. — Don de l'Union Internationale.

Cet admirable ouvrage contient les comptes rendus de toutes les séances du Congrès, des réceptions et excursions organisées pour les congressistes.

Les discussions auxquelles ont donné lieu les rapports présentés sur les questions figurant au programme sont reproduites dans le corps de l'ouvrage, les rapports eux-mêmes ont été mis en annexe.

Liste des rapports :

1^o Voitures à un seul agent, par M. Bacqueyrisse, directeur général de l'exploitation et des services techniques de la S.T.C.R.P de Paris.

2^o Progrès réalisés dans le freinage des tramways:

Partie a : Freinage des voitures appliqué aux tramways et chemins de fer vicinaux, par M. Vente, Ingénieur en chef des Tramways de Marseille.

Partie b : Même question par M. Allard, Ingénieur principal adjoint de Direction à la Société nationale des Chemins de fer vicinaux, Bruxelles.

Partie c : Le freinage à récupération, par M. Cuccoli, Ingénieur des Tramvie Elettriche Urbane de Milan.

3^o Les automotrices sur rails à moteur à combustion interne, par MM. Mellini, Ingénieur, membre du Conseil supérieur des Travaux Publics à Rome, et La Valle, Inspecteur en chef de l'Inspection générale des Chemins de fer, tramways et automobiles d'Italie à Rome.

4^o Les perfectionnements apportés aux voies :

Partie a : Rails et traverses, par M. Van Noorbeeck, Inspecteur général de la Société nationale des Chemins de fer vicinaux, Bruxelles.

Partie b : Aiguillage électrique par M. Riedel, Directeur de la Süddeutsche Eisenbahn Gesellschaft Abteilung « Essener Strassenbahnen », Essen.

5^o Emploi de la vapeur à haute pression dans les centrales modernes, par M. Rehmer, Ingénieur diplômé, Directeur de la Société anonyme « Berliner Städtische Elektrizitätswerke », Berlin.

6^o Méthodes et appareils de contrôle utilisés pour améliorer la régularité du trafic des tramways, par M. de Barquin, Ingénieur adjoint à la Direction de la Compagnie des Tramways bruxellois, Bruxelles.

7^o Circulation des tramways sur siège propre dans la périphérie des villes, par M. Lenartowicz, Ingénieur, Vice-Directeur des Tramways municipaux de Varsovie, à Varsovie.

8^o Agents de force motrice pour transports automobiles, par M. Guiffart, administrateur de la Compagnie générale française de Tramways, Paris.

9^o Liaison des essieux avec le châssis, essieux fixes et radiants.

Partie a : Etude des voitures à essieux parallèles et liaison des essieux fixes avec le châssis par M. Castaing, Ingénieur en chef de la Traction et du matériel à la S.T.C.R.P., Paris.

Partie b : Même question. Etude des essieux radiants, par M. Harmel, Directeur général de la Société anonyme des Tramways unifiés de Liège et extension, Liège.

IL Y A 30 ANS

Réunion ordinaire mensuelle du mercredi 7 juin 1899.

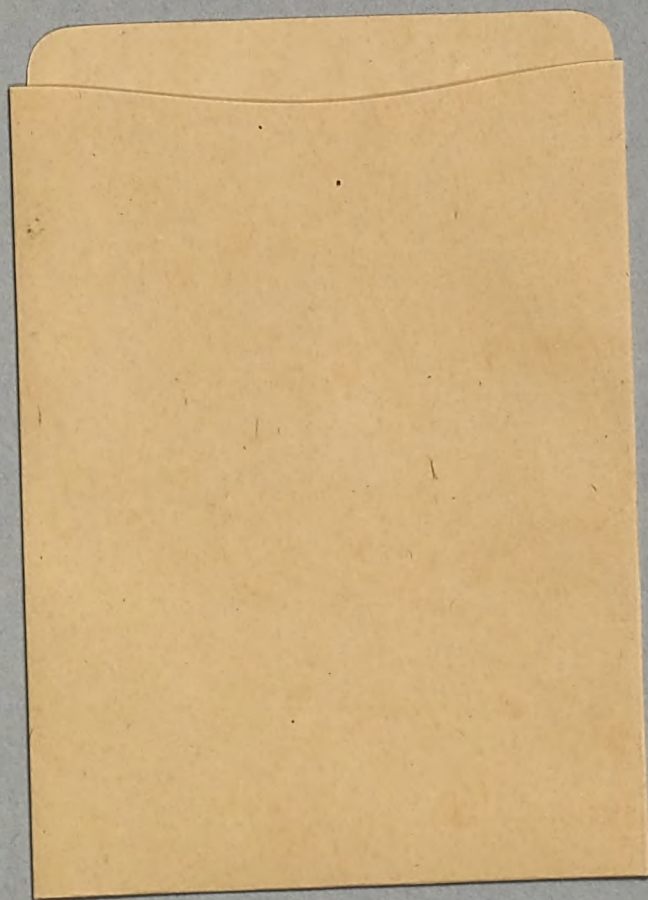
Présidence de M. J. VIOLLE.

M. ALIAMET présente, en son nom et au nom de M. E. SARTIAUX, une communication sur les applications industrielles des transformateurs-redresseurs (pneumateurs) de M. LEBLANC, dans les installations de la Compagnie des Chemins de fer du Nord.

M. LAPORTE expose la méthode employée au Laboratoire Central d'électricité pour l'étude de la répartition lumineuse des lampes à arc, spécialement des lampes munies de globes et de réflecteurs. Il décrit l'appareil construit à cet effet sous sa direction par MM. Charles DAVID, chef de travaux et MARÉCHAL, chef d'atelier du Laboratoire.

La méthode consiste à mesurer l'intensité lumineuse au moyen d'un photomètre fixe, sur lequel un miroir d'inclinaison constante par rapport aux rayons incident et réfléchi renvoie la lumière reçue suivant des directions variables dans le plan vertical de la source.

L'Imprimeur Gérant : Etienne CHIRON, Paris.



The Ohio State University



3 2435 06228914 5

OHIO STATE UNIVERSITY BOOK DEPOSITORY



8 03 12 28 8 06 006